

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE



FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL

Spécialité : Ressources en Eau

MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de •

MASTER

THEME

**Modélisation géostatistique de l'érosivité des pluies à l'échelle
de la Seybouse (Algérie)**

Réalisé Par:

DJAMATE Mohammed

Encadré Par:

Mr GUIDOUM Azzedine

Soutenu publiquement devant le jury :

Mr TADJ Walid

Président

Mr CHETIH Mohamed

Examineur

Mr BOUACHE Mohamed

Examineur

Année Universitaire : 2016/2017

Dédicace

À la mémoire de mon père (23/01/2015)

Pour ma mère,

Ma sœur,

Mes frères,

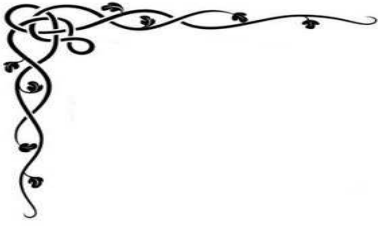
Ma femme,

Mon petit fils,

et mes amis

MOHAMMED. D





Remerciements

Au terme de ce travail, il m'est particulièrement agréable d'exprimer ma reconnaissance et mes vifs remerciements à toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à sa réalisation.

Je tiens à exprimer ma gratitude ma profonde reconnaissance, à Monsieur **GUIDOUM Azzedine, enseignant à la faculté de Génie civil et Architecture** pour le soutien avec lequel il m'a guidé et encouragé, sa constante disponibilité malgré ses multiples occupations, et pour m'avoir permis de terminer ce travail dans les meilleures conditions.

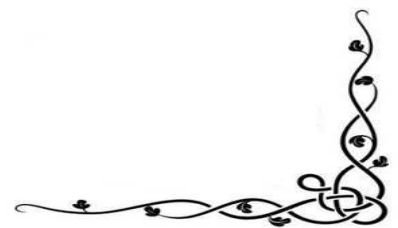


Table des matières

Liste des tableaux

Liste des figures

Résumé

Introduction générale..... 06

Chapitre I : Processus de l'érosivité et cartographie automatique: état de l'art.....07

I.1 Le concept de l'érosivité des pluies.....08

I.1-1 Caractéristiques de la pluie.....08

a. Averses et intensités..... 08

b. Temps de retour.....09

c. Les courbes IDF (intensité-durée-fréquence).....09

d. Abattement des pluies et influence de l'impact des gouttes.....10

I.1-2 Effet du couvert végétal.....11

I.1-3 Influence du stade de développement des croûtes.....11

I.2 Quelques éléments de SIG et de la géostatistique.....13

I.2-1 Systèmes d'information géographique (SIG).....13

I.2-2 Automatisation de la cartographie.....13

1.2-3 Méthodes d'interpolation : Le Krigeage.....13

I.2-4 Modèle numérique de terrain MNT.....14

1.2-5 Régression linéaire multiple.....14

I.2-6 Structure spatiale des données : Variogramme expérimental et modèle théorique.....15

1.3 La cartographie des paramètres climatiques en Algérie.....16

Chapitre II Etude physico-géographique.....17

II.1 Cadre géographique du bassin de la Seybouse.....18

II.2 Ensembles physiques et hydrographiques.....16

II.3 Description lithologique.....20

II.4 Occupation des sols.....21

II.5 Les paramètres climatiques déterminants.....22

II.5-1 Les précipitations et leur variabilité.....23

II.5-1-1 Le réseau pluviométrique et les séries d'observation.....23

II.5-1-2 Les précipitations annuelles et leur évolution.....25

II.5-1-3 Les précipitations mensuelles et les régimes saisonniers.....28

II.5-1-4 Les pluies journalières maximales.....	30
II.5-1-5 les pluies de courte durée.....	35
II.5-2 Les températures et ses nuances : Régime thermique.....	35
Chapitre III Analyse et cartographie de l'érosivité des pluies: approche géostatistique.....	38
III.1 Approche d'estimation de l'érosivité des pluies et variable à cartographier.....	39
III.2 Construction du modèle érosivité – relief.....	41
III.2-1 La construction du modèle numérique de terrain (MNT).....	41
III.2-2 La distance à la mer.....	42
III.2-3 Régression érosivité-paramètres explicatifs.....	43
III.2-4 Etude de la structure spatiale des résidus de régression.....	44
III.2-4-1 Variogramme expérimental et modélisation théorique.....	45
III.2-4-2 Interpolation spatiale des résidus de régression: le krigeage comme méthode d'interpolation.....	46
III.2-5 Constitution de la grille finale et de la cartographie automatique.....	46
III.3 Interprétation de de la cartes d'érosivité élaborée.....	46
Conclusion générale.....	50
Références bibliographiques	

Liste des tableaux :

N°	Titre	Page
II.01	Caractéristiques des postes pluviométriques de la Seybouse	24
II.02	Moyenne annuelle des séries Pluviométriques retenues dans l'étude (1970-2004)	27
II.03	Pluies journalières maximales de la Seybouse	31
II.04	Pluie maximale journalière fréquentielle (1970-2010)	34
II.05	Pluie de courte durée pour 4 stations pluviométriques représentatives la Seybouse	36
II.06	Régime thermique mensuel aux stations climatiques contrôlant la Seybouse (1990-2004).	37
III.01	Paramètres de la régression multiple : \sqrt{R}	43

Liste des figures :

N°	Titre	Page
I.01	Représentation schématique des courbes IDF	10
I.02	Exemple de coefficient de réduction des hauteurs de précipitations régionales en fonction de la durée des précipitations et de la surface considérée	11
I.03	Stades de formation des croûtes de battance	12
II.01	Localisation de la Seybouse	18
II.02	Hydrographie de la Seybouse	19
II.03	Les ensembles lithologiques du bassin versant de la Seybouse	21
II.04	Couvert végétal du bassin de l'oued Seybouse (d'après Mebarki, 2005)	22
II.05	Position des 26 postes pluviométrique et MNT couvrant la Seybouse	23
II.06 (a)	Variations interannuelles des précipitations (1970-2010)	25
II.06 (b,c)	Variations interannuelles des précipitations (1970-2010)	26
II.07 (a,b)	Variation annuelles des précipitations moyennes mensuelles (1970-2010)	28
II.07 (c,d)	Variation annuelles des précipitations moyennes mensuelles (1970-2010)	29
II.08 (a)	Ajustement à la loi de Gumbel des $P_{j_{max}}$ (1970-2010)	32
II.08 (b)	Ajustement à la loi de Gumbel des $P_{j_{max}}$ (1970-2010)	33
III.01	MNT couvrant la Seybouse	41
III.02	Distance à la mer établie pour la Seybouse (Guidoum, 2017)	42
III.03	Variogramme des résidus de régression	45
III.04	Etapes suivie pour l'établissement de la carte d'indice d'érosivité des pluies (R)de Wischmeier	48
III.05	Cartes de l'indice d'érosivité des pluies de Wischmeier pour la Seybouse (1970 - 2010)	49

Résumé

L'analyse des précipitations et de leurs effets sur le sol, constitue un élément de base dans toutes les stratégies d'aménagement hydraulique et de conservation des eaux et des sols. Dans le présent travail, nous avons essayé d'adapter et d'appliquer, dans les conditions spécifiques au bassin versant de la Seybouse, une méthodologie d'estimation et de spatialisation de l'indice d'érosivité des pluies de Wischmeier (R). Cette approche devait donc être conçue pour remédier au problème d'indisponibilité des données pluviographiques et leur mauvaise couverture géographique. La carte résultante tient compte des incertitudes sur les estimations ponctuelles et valorise l'information topo-géographique intégrée dans cette approche cartographique. Elle illustre des classes d'érosivité des pluies, équidistantes de $5 \text{ MJ mm ha}^{-1}\text{h}^{-1}\text{an}^{-1}$, et variée de moins de 35 à plus de 75 $\text{MJ mm ha}^{-1}\text{h}^{-1}\text{an}^{-1}$.

Mots clés : érosivité, précipitations, géostatistique, SIG, Bassin versant Seybouse, Algérie.

ملخص:

دراسة التساقطات و مدى تأثيرها على التربة تمثل عنصرا أساسيا في جميع استراتيجيات تهيئة الموارد المائية و المحافظة على المياه و التربة. في هذا العمل، حاولنا تكييف و تطبيق منهجية لتقدير و انتشار مؤشر قدرة (هجومية) الأمطار على إحداث التعرية، حسب الظروف و العوامل السائدة في حوض سييوس، هذه المنهجية ستسمح لنا بمعالجة مشكل عدم توفر بيانات هطول الأمطار المقاسة بشكل متواصل، أظف إلى ذلك انتشارها الضعيف و عدم كفايتها على مستوى الحوض . الخريطة المتحصل عليها تأخذ بعين الاعتبار عدم اليقين بشأن التقديرات النقطية (الموضعية) و تعزز المعلومات الطبوغرافية و الجغرافية المستغلة في هذا المنهج الخرائطي. هذه الخريطة توضح فئات هجومية الامطار ذات مجال متساوي يقدر بخمس وحدات و قد تراوحت قيمتها بين أقل من 35 و أكثر من 75 وحدة

الكلمات المفتاحية : هجومية الأمطار، التساقطات، جيواحصائي، نظم المعلومات الجغرافية، حوض سييوس، الجزائر.

Abstract

The rainfall analysis and its effects on soil, is a basic element in all strategies for water management, and water-soil conservation. In the present work, we tried to adapt and apply a methodology for estimating and spatializing the Wischmeier rainfall index (R) under the specific conditions to the Seybouse catchment. This approach should therefore be designed to remedy the problem of rainfall data unavailability and their poor geographical coverage. The resulting map takes into account the uncertainties on the point estimates and enhances the topographical and geographic information integrated in this cartographic approach. It illustrates rain erosivity classes, equidistant from $5 \text{ MJ mm ha}^{-1}\text{h}^{-1}\text{year}^{-1}$, and varied from less than 35 to more than 75 $\text{MJ mm ha}^{-1}\text{h}^{-1}\text{year}^{-1}$.

Keywords: erosivity, rainfall, geostatistics, GIS, Watershed Seybouse, Algeria

INTRODUCTION GENERALE :

Les processus d'érosion hydrique engendrent des conséquences importantes sur les plans socio-économiques et environnementaux. Ce phénomène est largement répandu dans le bassin méditerranéen (Bou Kheir et al. 2001), notamment en Algérie.

En effet, les précipitations jouent un rôle primordial pour provoquer l'érosion hydrique et leur érosivité se présente comme un facteur clé dans la modélisation des pertes en sol. Plusieurs auteurs Roose (1976), Morgan (1986), Vogt (1991), ont montré que la pluie est l'agent principal de l'érosion sur les sols de pentes moyennes à fortes. Parmi ces formulations, l'index d'érosivité des pluies R de Wischmeier (1959) semble aujourd'hui le plus universel et le plus connu.

L'estimation de cet indice sollicite la détermination d'énergie cinétique (E_c) et l'intensité maximale des gouttes de pluie de chaque averse sur 30 minutes consécutives (I_{30}).

L'absence de données de pluviographique a conduit certains auteurs à développer des relations entre l'érosivité de la pluie R et les précipitations (Arnoldus 1977, Bagarello et D'Assaro 1994, Renard et Freimund 1994, Silva 2001, Petkovsek et Mikos 2004, ...).

Ce mémoire vise à évaluer ce facteur d'agressivité pluviométrique (R) par des moyens alternatifs adaptés pour cette situation (l'inexistence des pluviographes) et à créer, par spatialisation de cet indice, une carte d'érosivité des pluies pour le bassin de la Seybouse. Le travail se déroule en 3 étapes présentées sous forme de 3 chapitres :

Le premier chapitre expose une synthèse bibliographique sur les processus de l'érosion hydrique et de transport solide.

Un deuxième chapitre est ensuite consacré à la présentation d'un diagnostic du milieu physique caractérisant le bassin d'étude (morphologie, lithologie, hydrographie, occupation des sols et climat).

Enfin le troisième chapitre concerne l'étude de l'érosivité des pluies, dans lequel on décrit la méthodologie appliquée dans le présent travail, notamment la méthode d'évaluation de l'indice d'érosivité des pluies R de Wischmeier et l'approche géostatistique utilisée pour la spatialisation et la cartographie de ce paramètre sous un SIG. Ce chapitre présente également, une discussion des résultats obtenus.

CHAPITRE I :
PROCESSUS DE L'EROSIVITE ET
CARTOGRAPHIE AUTOMATIQUE:
ETAT DE L'ART

L'érosion hydrique des sols est un phénomène naturel dû aux pluies (intensité et quantité des précipitations). L'une des actions essentielles exercées par les pluies consiste en la formation des éléments fins qui seront susceptibles d'être entraînés par l'eau.

Le processus de l'érosivité des pluies sera plus particulièrement détaillé dans ce chapitre avec les mécanismes qui le génèrent, les facteurs qui y contribuent, et les procédés de son estimation et de sa spatialisation.

I.1 Le concept de l'érosive des pluies :

L'érosivité de la pluie est définie comme la capacité potentielle de pluie à causer de l'érosion (Hudson 1981). Elle est donnée comme le produit ($E.I_{30}$) de l'énergie totale de pluie (E) et l'intensité maximale pendant 30 min (I_{30}).

I.1-1 Caractéristiques de la pluie :

La pluie est l'agent responsable des phénomènes de détachement induits par l'énergie cinétique créée par l'impact de la pluie à la surface du sol. L'action causée par l'impact de la pluie représente le premier stade de l'érosion hydrique des sols. Selon [Ellison \(1944\)](#), l'érosion par la pluie (splash) est positivement corrélée à la taille et à la vitesse des gouttes, à l'intensité de la pluie et, à la direction et à la vitesse du vent. L'impact des gouttes de pluie affecte aussi les processus d'érosion en modifiant les caractéristiques hydrauliques de l'écoulement ([Cerdan 2001](#)).

a. Averses et intensités :

On définit une averse comme un épisode pluvieux continu, dont la durée peut varier de quelques minutes à une centaine d'heures et intéresser une superficie allant de quelques kilomètres carrés (orages) à quelques milliers (pluies cycloniques). Elle est caractérisée à la fois par sa hauteur, sa durée et son intensité

L'intensité des pluies caractérise la force et l'énergie de la pluie plutôt que sa hauteur. On peut aussi distinguer une pluie continue d'une averse par leur différence d'intensité. Les averses sont plus instables et souvent plus intenses.

On définit alors une averse comme un événement pluvieux continu, dont la durée peut varier de quelques minutes à une centaine d'heures. Son étendue varie de quelques kilomètres carrés (orages) à quelques milliers (pluies cycloniques).

L'intensité moyenne d'une averse i_m en (mm/h ou mm/min) s'exprime par le rapport entre la hauteur de pluie observée h (en mm) et la durée t (en h ou min) de l'averse :

$$i_m = h/t$$

i_m : intensité moyenne de la pluie ou intensité spécifique en prenant en compte la surface [l/s.ha],

h : hauteur de pluie de l'averse [mm],

t : durée de l'averse [h ou min].

b. Temps de retour :

Les projets d'aménagements hydrauliques ou hydrologiques sont souvent définis par rapport à une averse type associée aux fréquences probables d'apparition. On définit alors le temps de retour T d'un événement comme étant l'inverse de la fréquence d'apparition de l'événement :

$$T = \frac{1}{1-F(x_i)}$$

$F(x_i)$: Fréquence de non-dépassement ou probabilité de non-dépassement

Si l'analyse fréquentielle d'une série d'intensités maximales de pluie permet de déterminer le temps de retour d'une valeur particulière il n'est en revanche et a priori pas possible de répondre à d'autres questions pertinentes qui peuvent se poser à l'ingénieur. Par exemple, la notion de temps de retour ne permet pas de répondre aux questions où q est la probabilité que l'événement ne se produise pas dans une année en particulier. Une pluie peut être caractérisée par plusieurs paramètres qui peuvent avoir, au sein de la même pluie, des temps de retour très différents.

c. Les courbes IDF (intensité-durée-fréquence) :

Les relations entre les intensités de pluie i (mesurée en mm/h), la durée de cette pluie t et la fréquence d'apparition des pluies F peuvent être représentées selon des courbes caractéristiques : on parle de courbes Intensité-Durée-Fréquence (IDF). Ces courbes s'établissent sur la base de l'analyse d'averses enregistrées à une station pluviométrique au cours d'une longue période. Elles sont généralement établies sur la base de l'analyse fréquentielle des précipitations enregistrées à une station au cours d'une longue période.

A partir de l'ajustement d'une droite aux intensités de durées différentes, Montana (Body K, 1985) suggère la formulation simple suivante : $i = a \cdot t^{b-1}$, où a et b sont constants et dépendent du climat du site de mesure.

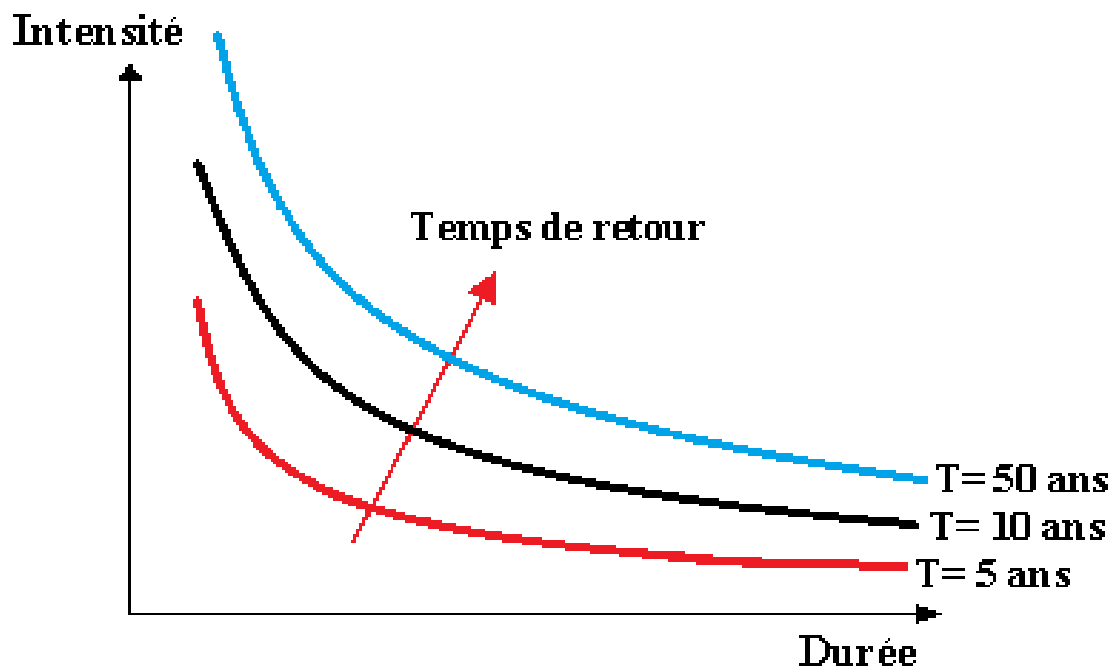


Figure I.01 : Représentation schématique des courbes IDF

d. Abattement des pluies et influence de l'impact des gouttes :

Dans de nombreuses études hydrologiques, il est nécessaire de connaître la lame d'eau précipitée sur le bassin versant. Un des moyens permettant l'estimation d'une lame d'eau à partir d'une hauteur de pluie ponctuelle tout en tenant compte de l'hétérogénéité des précipitations est l'utilisation d'un coefficient d'abattement ou de réduction

Le terme de coefficient d'abattement ou de coefficient de réduction recouvre une autre définition d'origine française qui semble mieux convenir au problème de calcul des pluies moyennes à partir d'observations de longue durée à un poste pluviométrique. Supposons connue la répartition statistique des averses ponctuelles en un lieu donné. Le problème de recherche de la pluie moyenne sur une surface peut se poser de la façon suivante: étant donnée une pluie ponctuelle en un point arbitraire de la surface et sa probabilité de non-dépassement,

On peut donc définir le coefficient d'abattement dit " probabiliste " comme le rapport de la pluie moyenne de fréquence donnée à la pluie ponctuelle de même fréquence :

$$K = \frac{P_m}{P}$$

Avec :

K : coefficient d'abattement,

P_m : pluie moyenne sur la surface, de fréquence donnée,

P : pluie ponctuelle de même probabilité.

Cette définition implique qu'en chaque point, la pluie suit une même loi de probabilité. Cette condition d'isotropisme de la pluie sur la surface est assez bien respectée pour une région homogène et peut s'appliquer dans le cas de petits bassins versants.

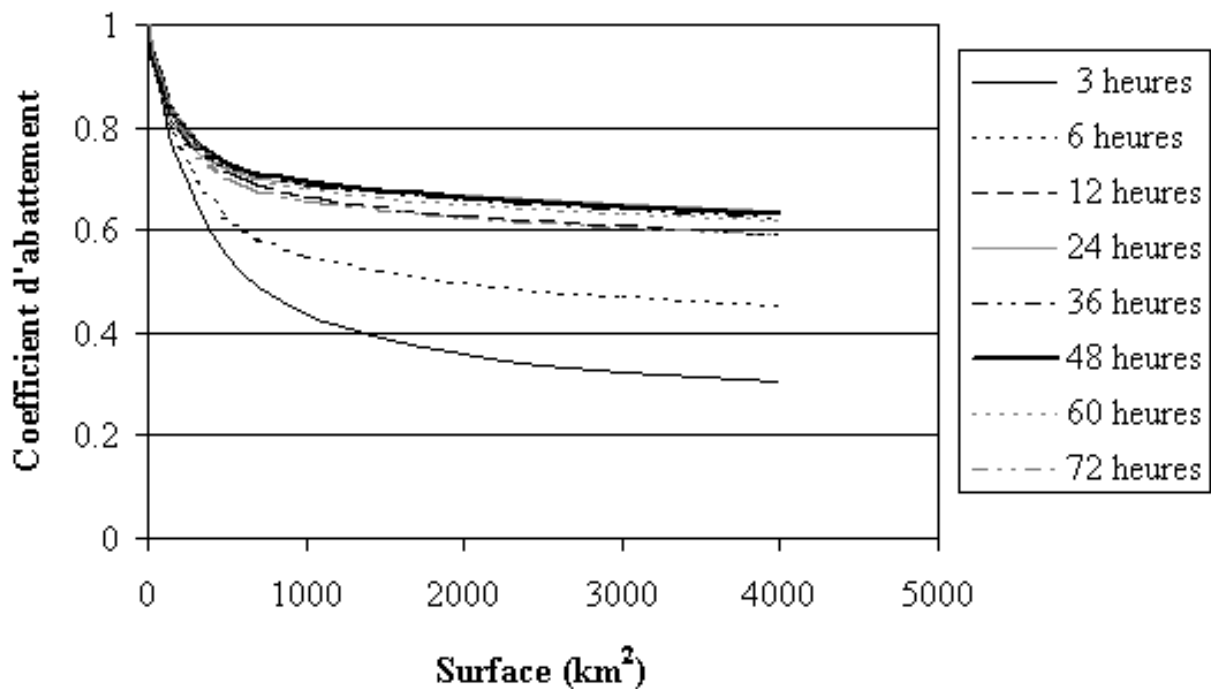


Figure I.02: Exemple de coefficient de réduction des hauteurs de précipitations régionales en fonction de la durée des précipitations et de la surface considérée

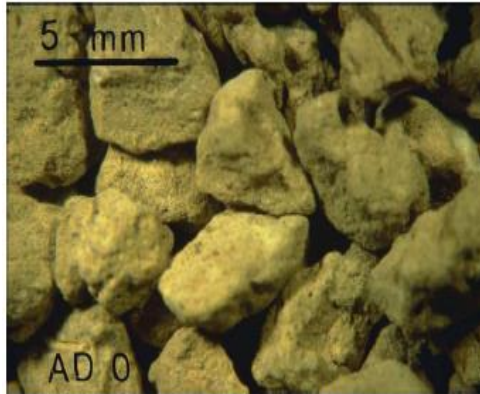
I.1-2 Effet du couvert végétal :

Une couverture végétale est d'autant plus efficace qu'il absorbe l'énergie cinétique des gouttes de pluie, qu'il recouvre une forte proportion du sol durant les périodes les plus agressives de l'année, qu'il ralentit le ruissellement et qu'il maintient une bonne porosité. (Roose, 1977). En plus, Les racines des plantes maintiennent la structure du sol et augmentent sa capacité d'infiltration des eaux et donc sa résistance à l'érosion hydrique.

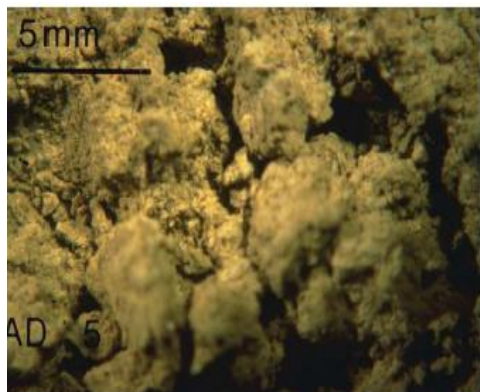
I.1-3 Influence du stade de développement des croûtes :

Les gouttes d'une pluie de forte intensité qui tombent sur les sols pauvres en argile et en matière organique, entraînent le rejaillissement de particules fines (effet splash) et l'éclatement des mottes par réhumectation. En conséquence, la surface du sol se colmate, et les croûtes de battance

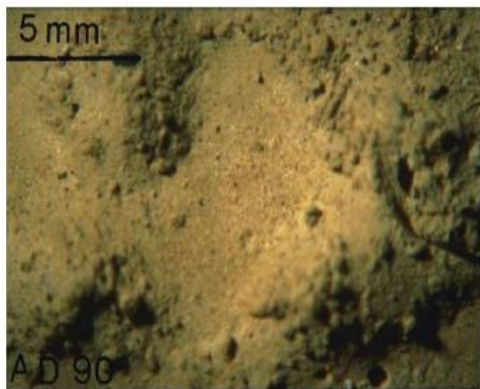
se forment et développent dans les petites dépressions où l'eau stagne, permettant le dépôt des sédiments fins. Les micros reliefs s'estompent, le sol perd toute capacité de rétention d'eau superficielle, et les pluies ultérieures, même si elles sont de faible intensité, engendreront du ruissellement (Le Bissonnais, 2002).



1 : agrégats visibles



2 : mottes dégradées



3 : croûtes de battance formées

Figure I.03 : Stades de formation des croûtes de battance

I.2 Quelques éléments de SIG et de la géostatistique :

Des bases de données à référence spatiale sont de plus en plus exploitées, et ce, dans divers domaines. Ces données localisées dans l'espace géographique sont traitées par des méthodes statistiques adaptées.

I.2-1 Systèmes d'information géographique (SIG) :

Les SIG sont définis comme étant des systèmes informatiques permettant, à partir de différentes sources, de rassembler et organiser, d'analyser et de combiner, d'élaborer et de présenter des informations géo-référencées, contribuant notamment à la gestion de l'espace (Mané 2002). Ces systèmes sont utilisés pour créer des modèles de simulation pour divers phénomènes, notamment les précipitations, l'érosion des sols, les ressources hydrique...etc Ils utilisent des bases de données sous forme numérique géo-référencées, et permettent de combiner des informations de sources hétérogènes : cartes, images satellitaires, photographies aériennes, données ponctuelles récoltées sur terrain...ect.

I.2-2 Automatisation de la cartographie :

La cartographie automatique dans le domaine de l'hydrologie est une opération d'un intérêt indéniable qui peut être menée rapidement grâce aux logiciels d'interpolation et de cartographie performants. De lecture aisée, les cartes créées peuvent faire clairement apparaître l'extension spatiale d'un phénomène hydrologique, notamment l'érosivité des pluies, ou bien son évolution dans le temps.

I.2-3 Méthodes d'interpolation : Le Krigeage

L'interpolation spatiale est un traitement mathématique parfois utile lors de l'étude d'un phénomène naturel qui se déploie continuellement sur le territoire (Baillargeon 2005). Il existe de nombreuses méthodes d'interpolation. Le choix d'une méthode bien adaptée au champ de valeurs à cartographier est lié au phénomène à étudier.

Parmi ces méthodes, le Krigeage qui porte le nom de son précurseur, l'ingénieur minier sud-africain D.G. Krige (Gratton Y 2002). C'est une méthode stochastique d'interpolation spatiale exacte qui prévoit la valeur d'un phénomène naturel en des sites non échantillonnés par une combinaison linéaire sans biais et à variance minimale des observations du phénomène en des sites voisins. Elle a l'avantage de prendre en compte la structure de dépendance spatiale des données

L'estimateur du Krigeage est de la forme : $Z^*(t_0) = \sum_{i=1}^P \lambda_i Z(t_i)$

où $Z^*(t_0)$ est une estimation de Z au point t_0 ; λ_i est le poids affecté à la valeur Z au point t_i et P est le nombre total des point de mesure de la variable Z .

I.2-4 Modèle numérique de terrain MNT :

Un modèle numérique de terrain appelé singulièrement MNT, est une carte indiquant la forme brute du terrain, sans construction ni végétation. Il correspond donc à une schématisation du modelé de la région étudiée. Ce modèle peut être composé d'entités vectorielles ponctuelles,, linéaires, surfaciques ou représenté en mode raster et permet de :

- reconstituer une vue en images de synthèse du terrain,
- calculer des surfaces ou des volumes.
- tracer des profils topographiques.
- manipuler de façon quantitative le terrain étudié

I.2-5 Régression linéaire multiple :

La régression linéaire multiple est une technique qui permet de décrire la liaison entre la variable dépendante (endogène) ou expliquée et un ensemble de variables explicatives (exogènes). Soit une variable Y que l'on veut relier à m variables X par le modèle linéaire suivant de la forme (Holder, 1985 in Guidoum 2017) :

$$Y = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + \dots + B_mX_m + \varepsilon$$

Avec Y : La variable dépendante ; $B_0, B_1, \dots,$

B_m : Les coefficients de régressions partiels calculés par la méthode des moindres carrés ;

m : Le nombre de variables indépendantes ; ε : Résidu de régression (écart entre la variable (Y) observée et la variable (Y^*) estimée par la régression).

Pour vérifier l'adéquation des paramètres B_0, B_1, \dots, B_m et montrer la proportion de la variation de (Y) qui est expliquée par l'ensemble des variables explicatives introduites dans le modèle, on utilise les coefficients de corrélation multiple (ou de préférence son carré, appelé coefficient de détermination multiple et noté (R^2) et partielle ($r_{x,y,z_1\dots z_p}$), (Deguen, 1998 in Guidoum 2017).

$$R^2 = \frac{\sum_i (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_i (y_i - \bar{y})^2} = 1 - \frac{\sum_i (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_i (y_i - \bar{y})^2}$$

$\sum_i (y_i - \bar{y})^2$: Somme des carrés totaux (SCT), traduit la variabilité totale de l'endogène ;

$\sum_i (\hat{y}_i - \bar{y})^2$: Somme des carrés expliqués (SCE), traduit la variabilité expliquée par le modèle ;

$\sum_i (y_i - \hat{y}_i)^2$: Somme des carrés résiduels (SCR), correspond à la variabilité non-expliquée par le modèle ;

$$r_{x.y.z_1 \dots z_p} = r_{e_x e_y}$$

$r_{e_x e_y}$: Coefficient de corrélation brute entre les résidus de régression de X et Y : e_x, e_x , sur (z_1, z_2, \dots, z_p) respectivement.

$$r_{e_x e_y} = \frac{\sum_i (e_{x_i} - \bar{e}_x)(e_{y_i} - \bar{e}_y)}{\sqrt{\left(\sum_i (e_{x_i} - \bar{e}_x)^2\right) \left(\sum_i (e_{y_i} - \bar{e}_y)^2\right)}}$$

$\sum_i (e_{x_i} - \bar{e}_x)(e_{y_i} - \bar{e}_y)$: variance de $(e_x e_y)$; $\sum_i (e_{x_i} - \bar{e}_x)^2$: variance de e_x ; $\sum_i (e_{y_i} - \bar{e}_y)^2$: variance de e_y .

1.2-6 Structure spatiale des données : Variogramme expérimental et modèle théorique :

L'analyse variographique, est une étape préalable au krigeage. Le variogramme brut expérimental $\gamma_e(h)$ exprime la variance des écarts entre les résidus de régression entre deux points distants de (h) , (Laborde, 1995) :

$$\gamma_e(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad \forall x \in D$$

avec :

$N(h)$: Nombre de paires dont les points sont espacés de h .

Z : une variable aléatoire de nature continue (la pluie dans notre cas) mesurée aux points

x_1, \dots, x_n .

Le vecteur $x_i = (x_{i1}, \dots, x_{id})$ désigne la coordonnée du $i^{\text{ème}}$ point auquel on s'intéresse ; les points x_i appartiennent à un domaine $D : x_i \in D \subseteq R^d$

Le vecteur distance h en deux points x_i et x_j est défini par :

$$h_{ij} = x_i - x_j = (x_{i1} - x_{j1}, \dots, x_{id} - x_{jd}).$$

Il se fait en calculant la variance pour toutes les couples de points connus et par la suite la variance entre chaque point connu et tous les points à estimer.

Le calcul du variogramme expérimental conduit à un nuage de points qui peuvent être ajusté visuellement à un modèle théorique. On peut citer :

$$\text{Le modèle sphérique : } \gamma(h) = \begin{cases} C_0 + C \left[\frac{3|h|}{2a} - \frac{1}{2} \left(\frac{|h|}{a} \right)^3 \right] & h \leq a \\ C & h > a \end{cases} ;$$

$$\text{Le modèle exponentiel : } \gamma(h) = C_0 + C \left[1 - e^{-\left(\frac{|h|}{a}\right)} \right]$$

$$\text{Le modèle gaussien : } \gamma(h) = C_0 + C \left[1 - e^{-\left(\frac{|h|}{a}\right)^2} \right] ;$$

$$\text{et le modèle puissance : } \gamma(h) = C_0 + C|h|^\lambda$$

avec :

$\gamma(h)$: Variogramme théorique ; h : La distance moyenne inter-classe (km) ; C : Le palier (mm^2) ;
 a : la portée théorique du phénomène (km) ; C_0 : Effet de pépite.

1.3 La cartographie des paramètres climatiques en Algérie :

Les premiers travaux de cartographie des paramètres climatique en Algérie se résume généralement en quelques cartes pluviométriques: la carte pluviométrique de [Seltzer \(1946\)](#) qui a été établie d'après les moyennes brutes de 25 années pluviométrique (1913-1938) ; la carte au 1/500.000 de [Gaussen \(1948\)](#) couvre la période 1913-1947 et la carte de [Chaumont et Paquin \(1971\)](#) qui représente la pluviométrie moyenne annuelle ramenée à une période de 50 ans (1913-1963). Ces travaux sont basés sur l'interpolation manuelle du contour des isohyètes à partir des données mesurées aux postes pluviométrique en s'appuyant sur un fond hypsométrique.

Les cartes réalisées pour quelques paramètres climatiques à différents pas du temps (précipitations, température, évapotranspiration) après 1993 par l'agence nationale des ressources hydrique (ANRH) ont substituées l'approche cartographique fondée sur l'interpolation manuelle par une méthode de cartographique automatique, basée sur la géostatistique. Plus récemment, des séries d'analyses et de cartographie des précipitations ont été menées sur l'ensemble ou une partie du pays comme celles de [Anser 1998](#), [Ineglizs 2002](#) et [Mebarki \(2005\)](#).

CHAPITRE II :
ETUDE PHYSICO-GEOGRAPHIQUE

II.1 Cadre géographique du bassin de la Seybouse :

Le bassin de la Seybouse qui couvre une superficie de 6476 km², est situé au Nord-est de l'Algérie, et s'étend sur 160 km, suivant une disposition sensiblement Sud-ouest-Nord-est, des confins des Garaet El Tarf et Guelif au Sud, jusqu'à la mer au Nord (figure II.01). C'est un complexe hydro-système qui se caractérise par une forte disparité physique. Il est caractérisé par un climat de type méditerranéen, son régime climatique dépend de deux paramètres principaux : la précipitation météorique et la température.

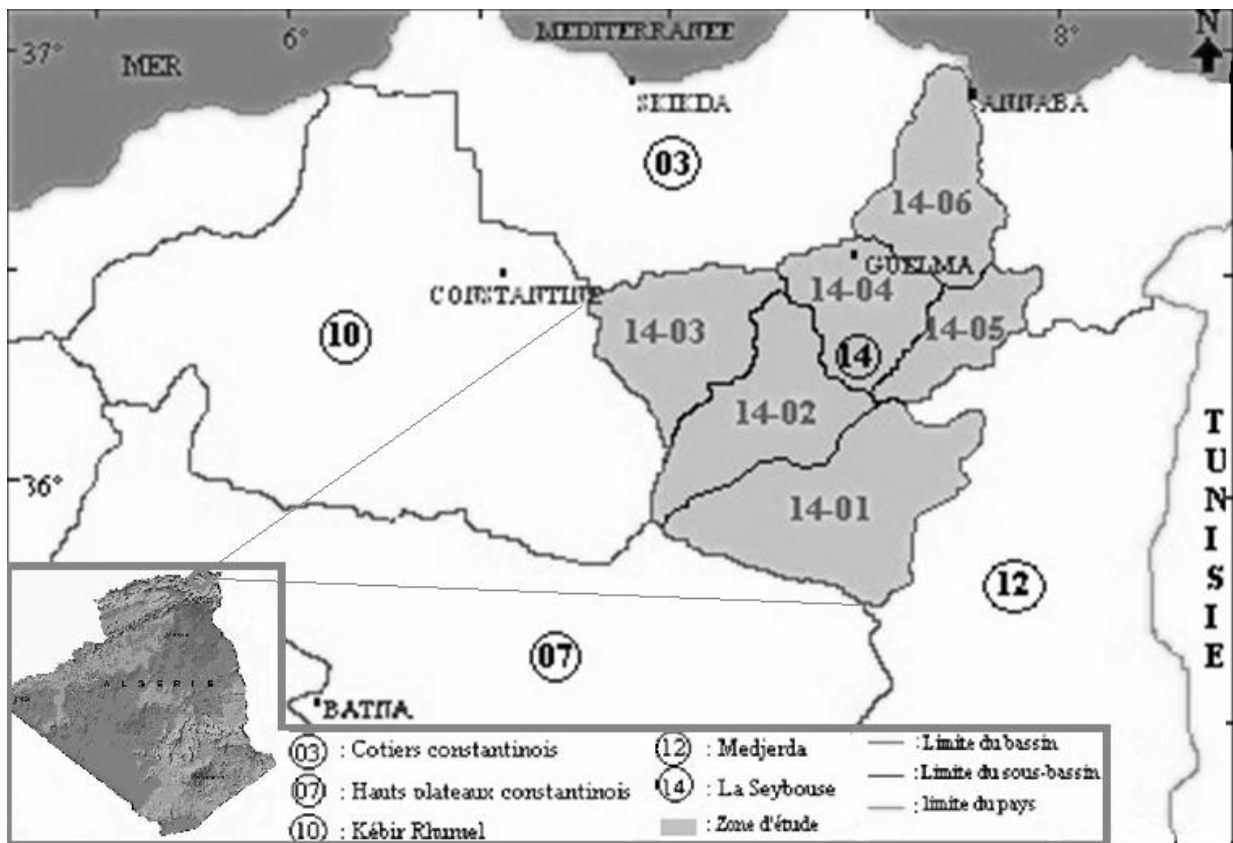


Figure II.01 : Localisation de la Seybouse

II.2 Ensembles physiques et hydrographiques :

L'organisation morpho-structural de ce bassin, depuis la basse plaine côtière du tell jusqu'à la zone des dépressions et des lacs salés, est très compliquée que nous présentons comme suit : La plaine septentrionale du Tell, L'Atlas Tellien et la chaîne Numidique et le secteur des hauts plateaux et des vastes dépressions endoréiques (Chott, Sebkha, Garâa).

La Seybouse compte au totale 6 sous bassins versants dont 5 sont contrôlés par des stations hydrométriques. L'Oued Seybouse s'étalant sur plus de 150 km, avec des ramifications atteignant les 3000 km, à l'exemple l'Oued Bouhamdane, et l'Oued Cherf, principaux, ses affluents. L'Oued Cherf prend naissance dans les Hautes Plaines et rencontre l'Oued Bouhamdane, à l'ouest de Guelma. Ces deux cours d'eau donnent naissance à l'Oued Seybouse qui coule d'ouest en est jusqu'à sa confluence avec l'Oued Melah, affluent issu des monts de la Medjerda. Puis, la Seybouse pénètre dans la plaine littorale de Annaba et change de direction pour rejoindre, plus au nord, la mer Méditerranée (Mebarki, 2000).

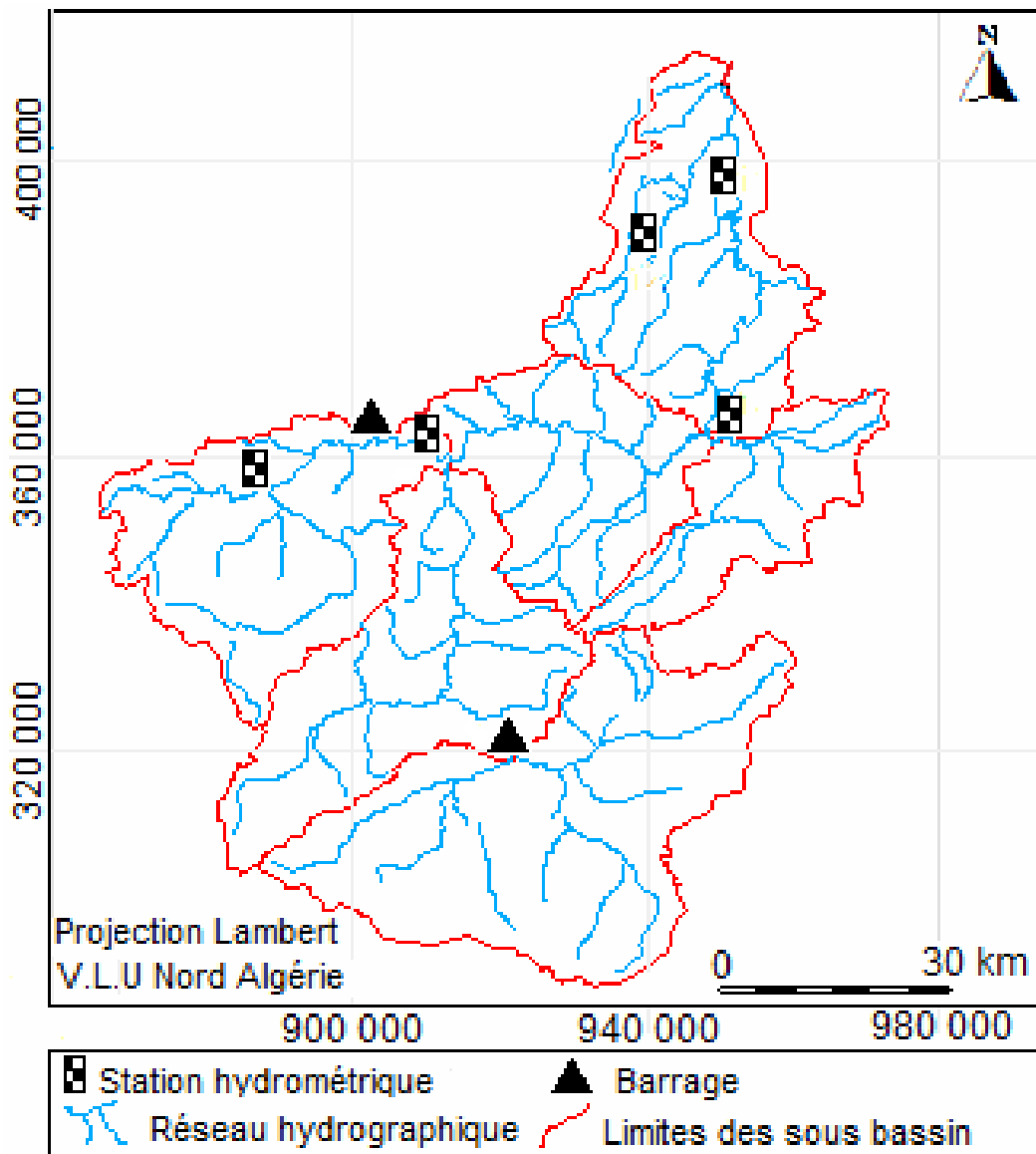


Figure II.02 : Hydrographie de la Seybouse

II.3 Description lithologique :

Dans **la haute Seybouse**, le bassin du Haut Cherf est formé essentiellement par des formations quaternaires (argile sable, gravier et limon). Les affleurements du Crétacé supérieur ou du Sénonien (marnes-grises, formations marno-calcaires et marnes noirâtres), entourent la région de Sédrata. La plaine de Tiffech entre le Djebel Tellez et Djebel Tiffech, est constituée par des formations argilo-sableuses. Le Haut Cherf est encadré au Sud-Est par des calcaires, alors que les calcaires et les marno-calcaires affleurent au centre et au Sud-Ouest. Au Nord, on trouve surtout les formations à dominance marneuse du Miocène et des bancs sableux et gréseux.

La moyenne Seybouse au niveau de la plaine de Tamlouka est comblée par les sédiments du Mio-Plio-Quaternaire à dominance argileuse, sableuse et graveleuse. La plaine est bordée par des calcaires fissurés et des marno-calcaires du Crétacé inférieur. La région Sellaoua et Ain Hassaïnia est formées par des bancs de calcaire. A la confluence des oueds Mgaïbsba et Cherf, affleurent d'argile, des grés numidiens et de marno-calcaire des formations argileuses et marno-calcaires et des grés numidiens du Mio-Pliocène.

La lithologie dominante du bassin du Bouhamdane est composée de formations argilo-gréseuses du Numidien. La plaine de Gulema correspond à un synclinal comblé par des argiles, de conglomérats, de marno-calcaires, des grés numidiens et des calcaires lacustres.

Les formations numidiennes (calcaires yprésiens, alternance d'assises gréseuses et de séries argileuses ou argilo-gréseuses) se développent largement au sud de Guelma en occupant la partie montagneuse jusqu'à Sédrata. La dépression de Bouchegouf est comblée par les alluvions déposées par la Seybouse. Le Trias de Djebels Nador domine, il correspond à une association de dolomies, de marnes, d'argiles et de gypses broyés.

La basse Seybouse dans sa partie sud occupée d'argiles rouge numidiennes. Alors que, les marno-calcaires et les flyschs de Aïn Berda dominant au Sud- Ouest. Au centre, la plaine d'Annaba, se présente comme un fossé d'effondrement rempli par des sédiments pliocènes et quaternaires. Le flanc oriental du Djebel Edough dans le Nord-Ouest, est constitué à des roches cristallines (gneiss, schistes) micaschistes. Cette Description est issue principalement de l'étude de [Ghachi, \(1986\)](#).

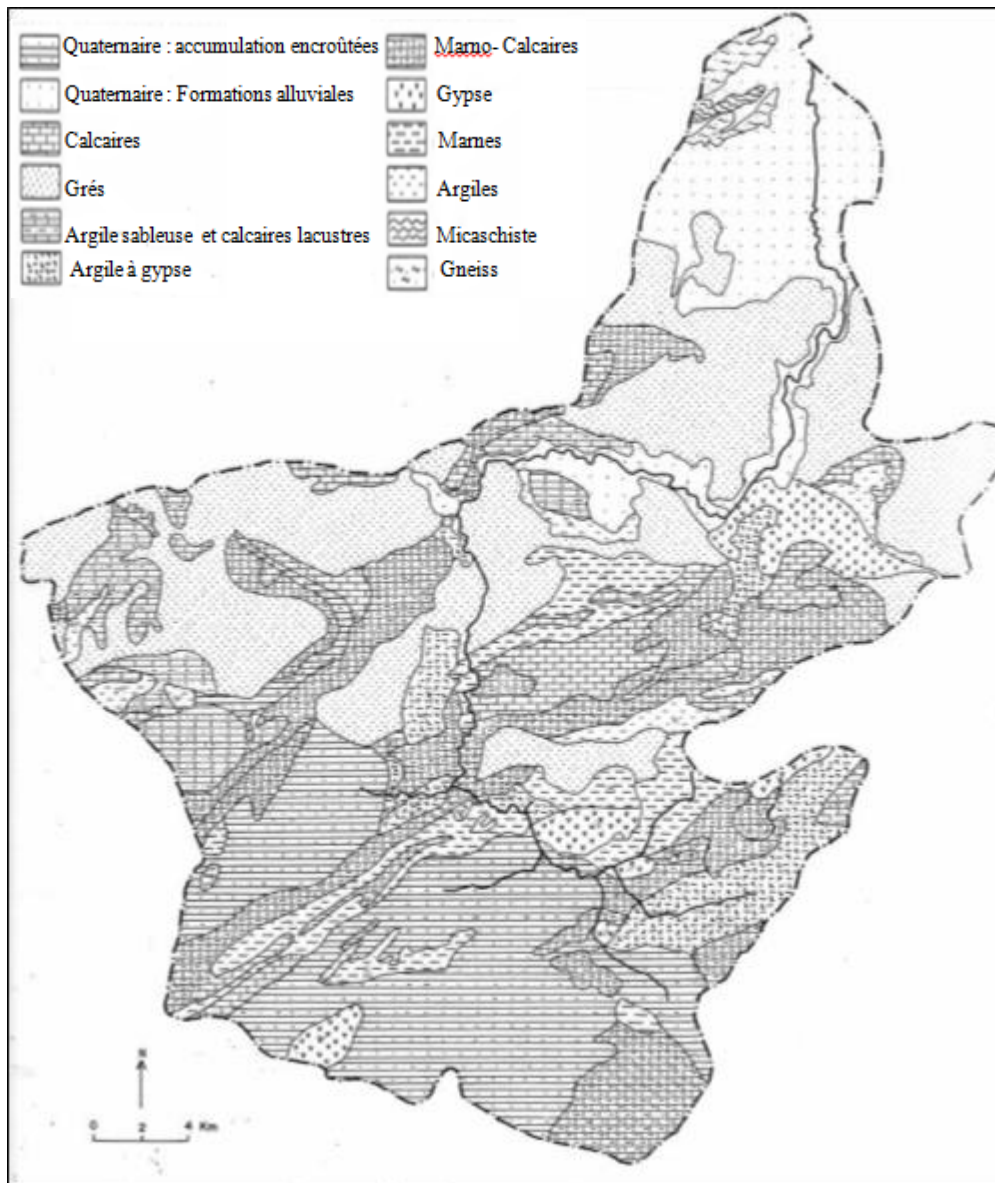


Figure II.03 : Les ensembles lithologiques du bassin versant de la Seybouse
 (Sources: cartes géologiques 1/200 000, cartes géologiques 1/50 000).

II.4 Occupation des sols :

La répartition géographique de la couverture forestière de la Seybouse fait ressortir des nuances régionales importantes

- Dans la zone tellienne, en particulier, les massifs d'Edough (le taux de recouvrement est de 70%), Mahouna (le taux de boisement atteint 40%), et les assises gréseuses de la chaîne Numidique (presque 35% de sa surface couverte de forêts), constituent les secteurs forestiers par excellence, avec des belles forêts de chêne liège. La zone montagneuse de l'oued Ghanem et l'oued Medjerda comporte le pourcentage de couvert et le taux de boisement le plus élevé. Elle

est couverte par le chêne liège, par endroit de chêne zen, et parfois des variétés d'eucalyptus (reboisement).

- Les hautes plaines, région à climat continental définie par un étage bioclimatique semi-aride frais, marque durement la végétation (dominance de la céréaliculture). Seuls quelques lambeaux de forêts à chaînes verts et pins d'Alep, sont localisés sur les massifs calcaires et marno-calcaires. Un maigre matorral à base de chêne vert couvre les hauts glacis, (Côte M., 1979, in Mebarki A., 2005).

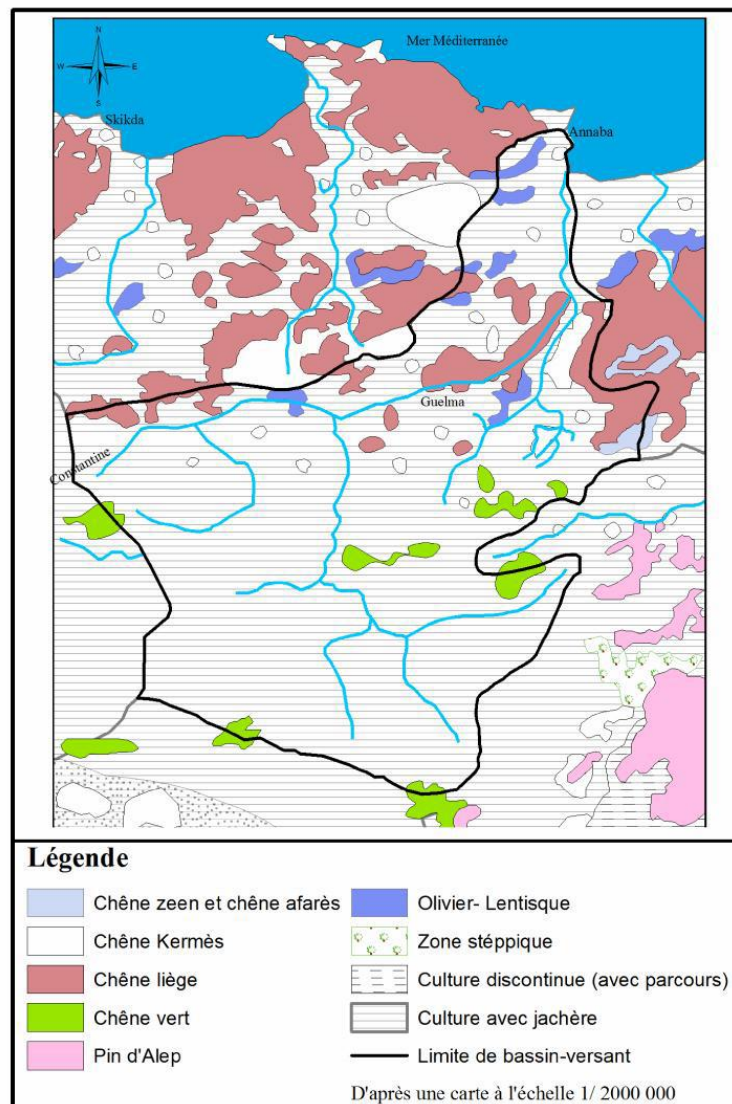


Figure II.04 : Couvert végétal du bassin de l'oued Seybouse (d'après Mebarki, 2005)

II.5 Les paramètres climatiques déterminants :

L'analyse des paramètres climatiques pour notre étude ne porte essentiellement que sur la pluviométrie, en plus d'une présentation des températures qui règnent sur le secteur d'étude.

II.5-1 Les précipitations et leur variabilité :

Les précipitations représentent le facteur le plus important du climat et le plus facile à mesurer. Pour cela, la plupart des études hydro-climatiques portent sur ce paramètre bien plus que sur d'autres. C'est le cas de notre étude, dont le calcul du facteur R d'érosivité des pluies nécessite, en premier lieu, l'analyse des précipitations à différentes échelles du temps.

II.5-1-1 Le réseau pluviométrique et les séries d'observation :

Notre contribution se base sur des données pluviométriques qui proviennent principalement de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH). Nous avons retenu 28 postes pluviométriques allant de septembre 1970 jusqu'à août 2010 sur 40 ans. Le tableau II.01 dresse la liste des stations retenues pour l'étude.

Ces données ont fait l'objet d'un contrôle de qualité et d'une reconstitution des séries d'observation (restitution des données manquantes) sur les 28 stations retenues dans l'étude à l'aide du logiciel Hydrolab sous excel (Laborde et Mouhous 1998).

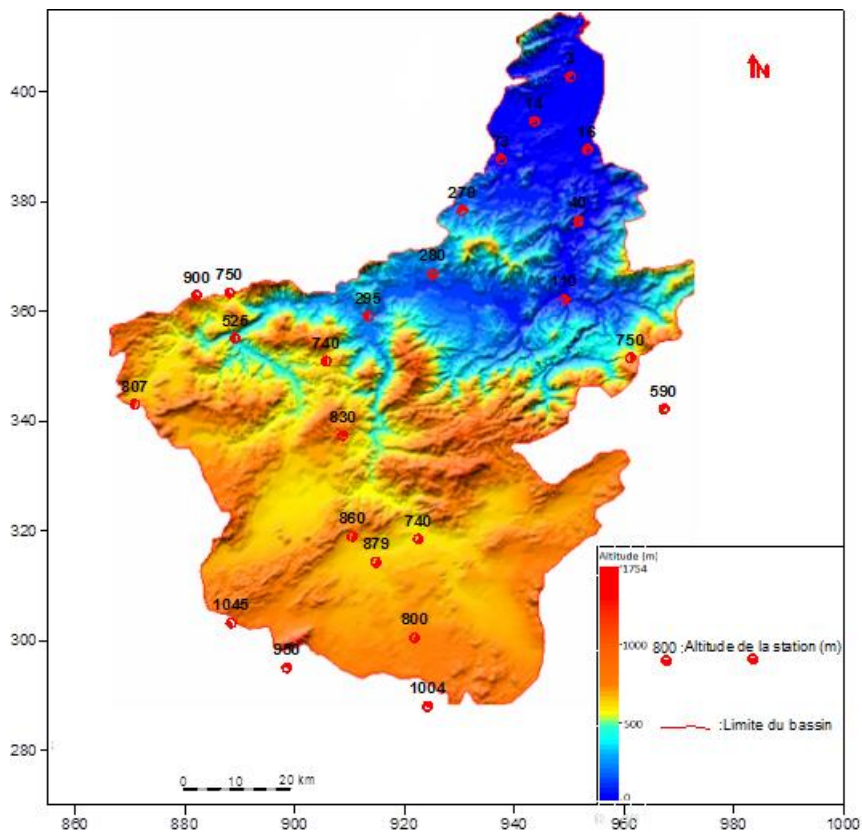


Figure II.05 : Position des 26 postes pluviométrique et MNT couvrant la Seybouse

Tableau II.01 : Caractéristiques des postes pluviométriques de la Seybouse

N°	Station	Code- ANRH	Coordonnées Lambert (km)		Altitude (m)	Distance à la mer (m)
			x	y		
1	Ain El Kleb	30904	888,15	363,4	750	50,3
2	Bou Snib	30905	882,1	362,95	900	50,1
3	Berrahal	31302	923,35	403,1	40	19,3
4	Boulhilet	70502	858,4	277,5	859	149
5	Ain Diss	70504	888,4	303,2	1045	105
6	Ain Beida	70707	924,15	288	1004	139,7
7	Fkirina	70708	916,9	272,75	856	150,5
8	Oum El Bouagui	70716	898,55	295,05	950	123
9	Souk Ahras Subd	120101	967,25	342,25	590	65,1
10	Berriche	14 01 03	921,85	300,5	800	122,4
11	Ksar Sbahi	14 01 04	910,5	319	860	100,5
12	Ain Settara	14 01 05	922,5	318,5	740	100,6
13	Ain Snob	14 01 06	928,18	317,5	879	100,8
14	Ain Makhlouf	14 02 05	908,8	337,4	830	85
15	Bordj Sabath	14 03 02	889,1	355,1	525	51,5
16	El aria (B. Badiss)	14 03 04	870,85	343,1	807	63,5
17	Ras El Akba	14 03 09	905,7	350,9	740	64,7
18	Medjez Amar PV	14 03 13	913,4	359,1	295	57,2
19	Heliopolis	14 04 03	925,15	366,85	280	51
20	Guelma lycée MBM	14 04 12	924,1	361,4	280	56,1
21	Mechroha	14 05 02	961,15	351,55	750	52
22	Bouchegouf	14 05 05	949,15	362,2	110	50,5
23	Nechmeya	14 06 05	930,5	377,9	270	44,8
24	Ain Berda	14 06 06	937,6	387,75	73	30,5
25	Boukhamouza	14 06 07	951,7	376,45	40	37,6
26	El Kerma	14 06 09	944,6	395,5	14	18
27	Kef Mourad	14 06 11	953,8	389,5	19	21,3
28	Pont Bouchet	14 06 31	950,25	402,8	3	6,8

II.5-1-2 Les précipitations annuelles et leur évolution :

La pluviométrie interannuelle de la Seybouse a été calculée sur une période de 40 ans, de 1970 à 2010, pour 28 postes pluviométriques. L'observation du tableau II.02 des valeurs interannuelles des précipitations nous permet de dégager les tendances générales de la variation de la pluviométrie annuelle.

Une décroissance des hauteurs annuelles est observée, du littoral vers le sud, suivant un gradient latitudinal altéré néanmoins par l'effet orographique des massifs montagneux de l'Atlas Tellien.

La pluie moyenne interannuelle de la période (1970-2010), varie de moins de 273 mm à Berriche au sud à 800 mm d'altitude dans les hauts plateaux, à plus de 1100 mm à la station Mechroha situé dans le nord-est au niveau de l'Atlas Tellien à 750 m d'altitude et exposée vents humides du nord-ouest. En plus, les précipitations annuelles de la Seybouse sont très variables avec de fortes amplitudes d'une année sur l'autre (Figure II.04).

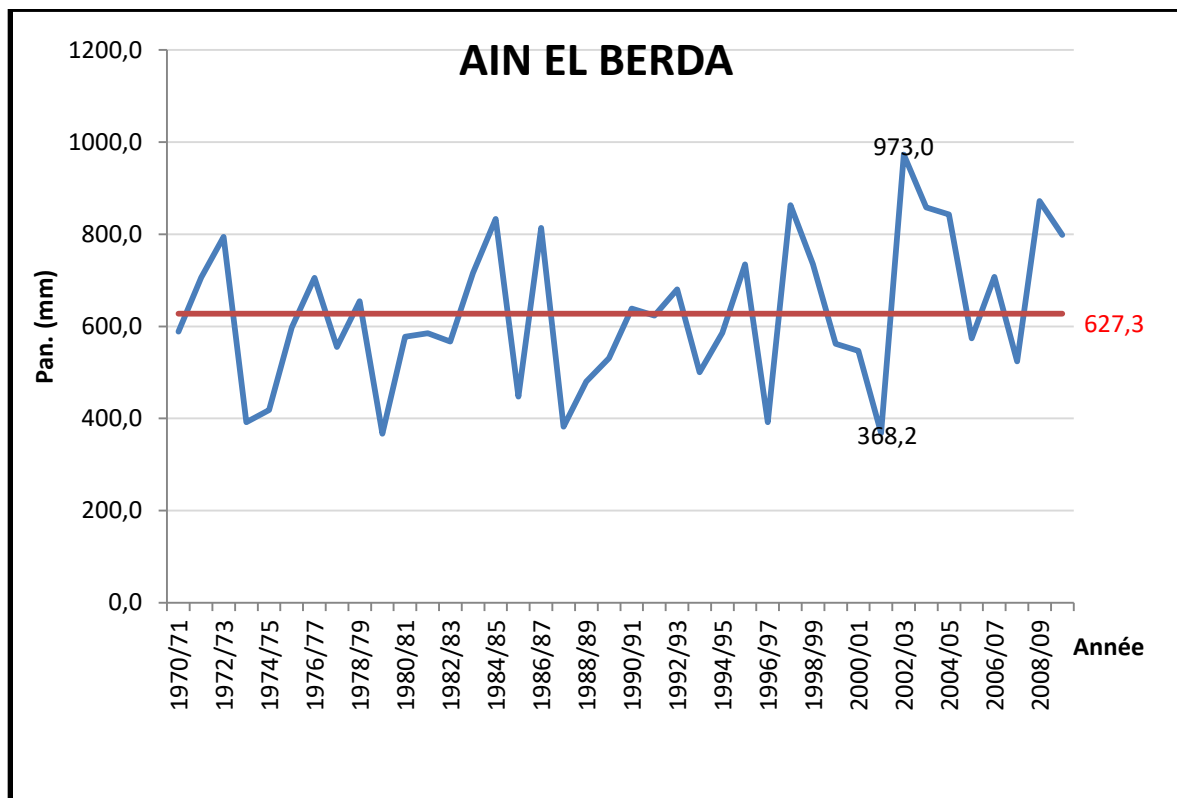


Figure II.06 (a) : Variations interannuelles des précipitations (1970-2010)

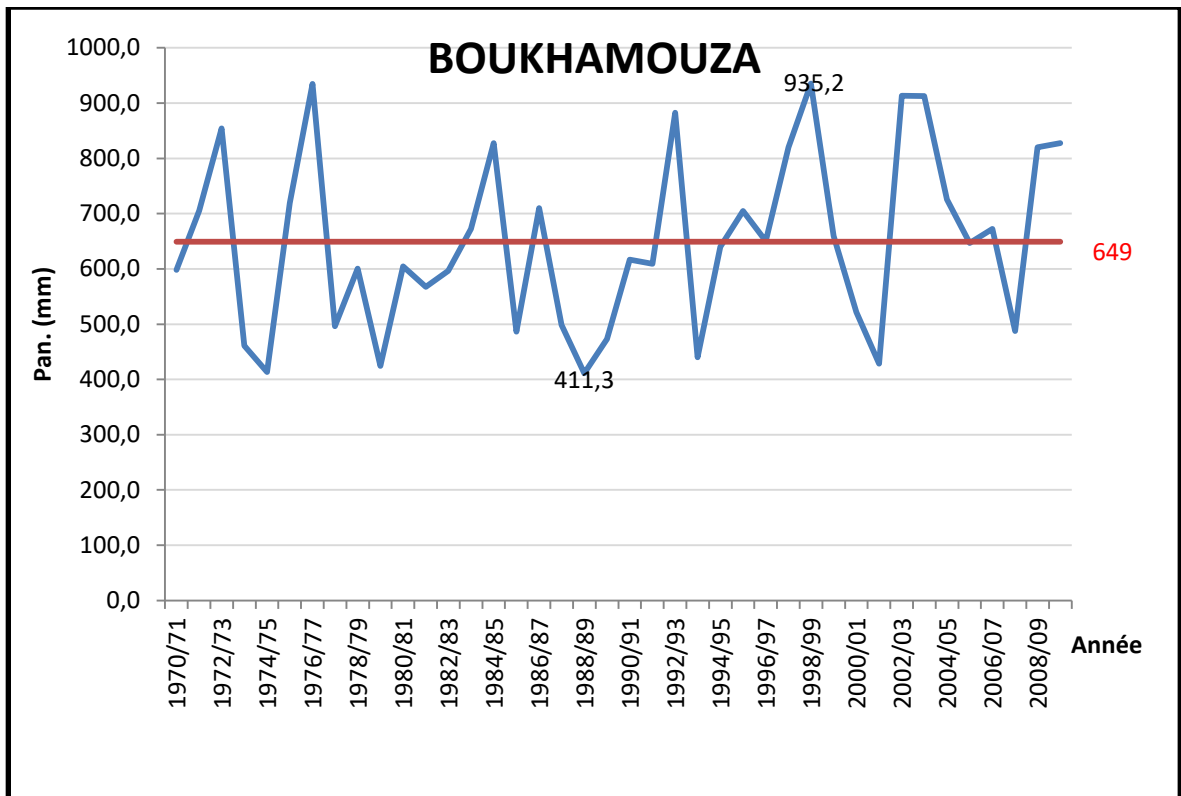


Figure II.06 (b) : Variations interannuelles des précipitations (1970-2010)

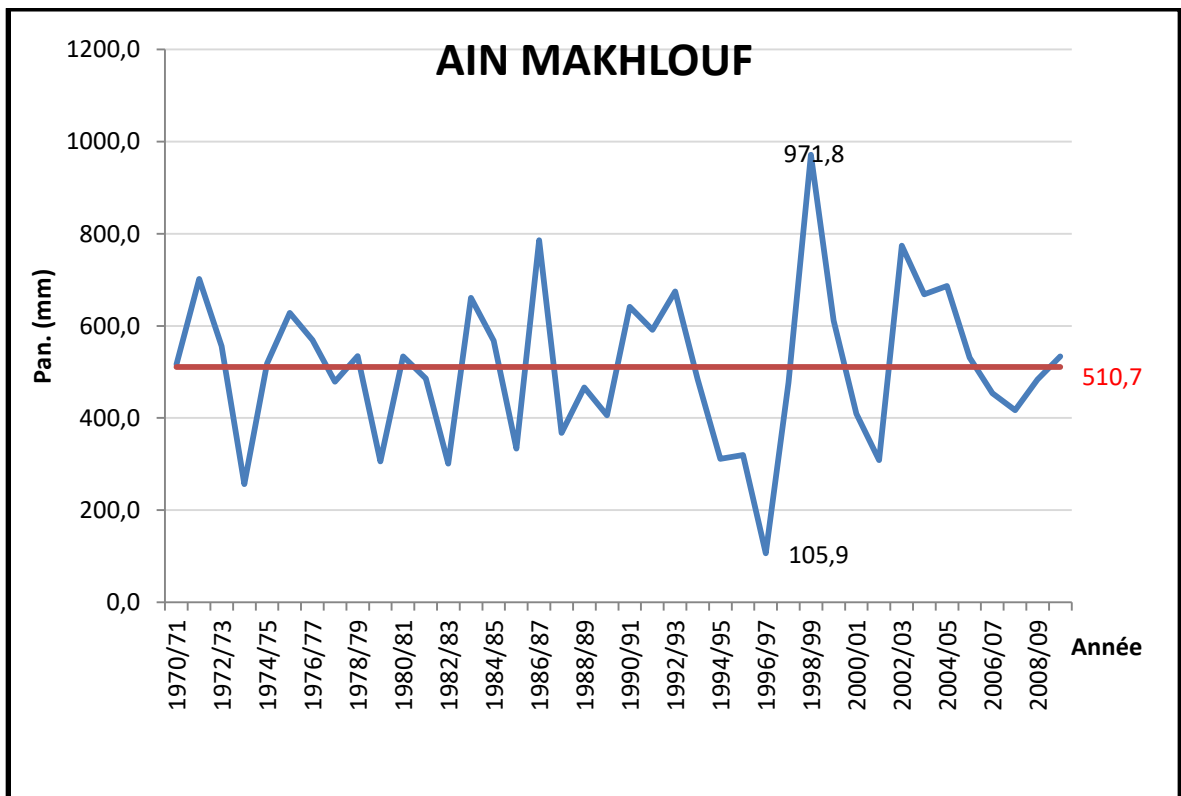


Figure II.06 (c) : Variations interannuelles des précipitations (1970-2010)

Tableau II.02 : Moyenne annuelle des séries Pluviométriques retenues dans l'étude (1970-2004)

Station	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Fev.	Mar.	Avr.	Mai.	Jui.	Juit.	Août	année
Ain El Kleb	29,8	34,4	53,4	82,2	86,5	69,2	79,5	75,1	32,8	9,4	2,7	4,1	559,2
Bou Snib	31,4	56,6	77,2	97,1	93,2	72	74,1	71,2	51,4	14,8	3,8	12,6	655,5
Berrahal	24,9	69	92,2	116,7	98,7	77,1	61,8	60,3	39,7	11,1	2,7	7,8	661,9
Boulhilet	17,7	15,2	15,4	21,6	24,2	17,5	26,7	19	24,2	16,5	3,7	9,2	211
Ain Diss	35,3	29,2	33,3	24,6	30,7	41,6	45,9	48,1	44,2	28,5	11,1	17,1	389,5
Ain Beida	31,6	32,1	41,2	40,3	41,6	36,1	47,7	46,8	40,2	28,1	7,2	18,2	411,3
Fkirina	28,5	28,8	33,4	43,4	33,7	29,1	51,4	41,8	46,9	25	8,1	13,1	383
Oum El Bouagui	40,8	27,9	12,3	46,6	33,9	50	42,4	44,8	22,8	21,7	0	10	353,2
Souk Ahras Subd	26,2	36,1	56,3	69,3	78,7	78,1	75,6	54,7	40,4	15,5	7,1	19,6	557,5
Berriche	19,7	20,7	19,7	31,5	34,1	26	30,2	28	29,6	14,2	7,5	12,1	273
Ksar Sbahi	17,5	24	27,3	47,2	48,1	35,8	47,6	39,8	43,9	18,9	6	7,7	364
Ain Settara	28,7	23,3	29	41,7	39,2	25,1	33,5	35,9	39,8	16,5	7,3	9,6	330
Ain Snob	24,1	35,1	23,6	41,9	62,3	45,5	33,1	42,5	28,2	17,1	2,8	8,1	364
Ain Makhlouf	26,7	32,5	60,7	79,5	71,5	58,3	55	52,8	39,6	16,3	5,2	12,5	510,7
Bordj Sabath	35,4	38,4	54,6	87,7	82,3	64,9	62,2	54	40,4	13,9	3,9	8,1	546
El aria (B. Badiss)	10,2	34,8	32,5	54,1	77,6	53,3	48,6	60,3	44,6	13,2	4,4	6,6	440,3
Ras El Akba	21,2	41,5	64,9	87,7	83	63,6	54,6	49,2	48,8	23,3	7,3	12,6	558
Medjez Amar PV	40	46	63,7	84,4	87,3	66,7	57,7	56,2	45	22,2	4,7	9,7	583
Heliopolis	35,7	50	62,4	90	89,1	68,6	65,8	60	41,2	16,6	4,3	8,4	592,2
Guelma lycée MBM	29,7	47,6	59,8	78,2	67,3	61,6	58,1	53,5	45,7	14,8	3,3	9,2	526,4
Mechroha	50,3	74,3	116,9	142,6	149,8	129,7	167,1	115,3	115,4	35,3	2,4	7	1106,1
Bouchegouf	33,1	45,9	55,5	75,5	77,8	59,5	70,9	60,6	46,4	14	3,2	11,2	553,6
Nechmeya	30	44,1	58,2	80,1	82,3	70,3	58	54,2	36,1	12,6	3,8	8,2	538
Ain Berda	41,1	57,8	69,6	92,1	94,6	70,5	71,1	63,7	42,6	13,7	2,3	8	627,3
Boukhamouza	39,1	57,6	72,1	95,3	96,8	71,2	76	71,6	40,4	17,7	2,7	8,7	649
El Kerma	39,9	61,9	69,2	103,7	96,5	68,7	64,5	53,4	35,4	11,3	2,1	7,4	614
Kef Mourad	30,1	47,2	70,2	88,2	87,9	73	69,6	66,8	41,4	12,1	1,4	6,9	595
Pont Bouchet	38,7	61	80	95,1	90,4	67,5	62,4	56,1	33,6	13,5	2,2	9,1	610

II.5-1-3 Les précipitations mensuelles et les régimes saisonniers :

Les valeurs pluviométriques mensuelles relatives à la période 1970-2010 illustrées par des histogrammes (Figure II.07 a,b,c,d) pour 4 postes pluviométriques, traduisent clairement les variations mensuelles de la distribution des précipitations à l'échelle annuelle.

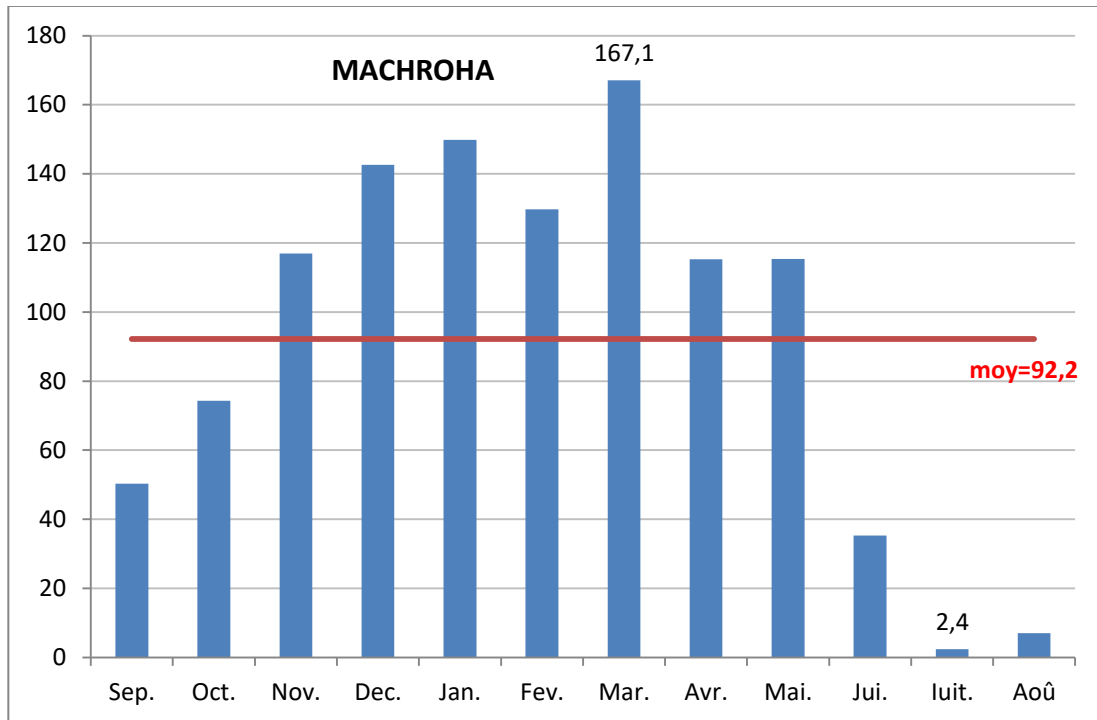


Figure II.07 (a) : Variation annuelles des précipitations moyennes mensuelles (1970-2010)

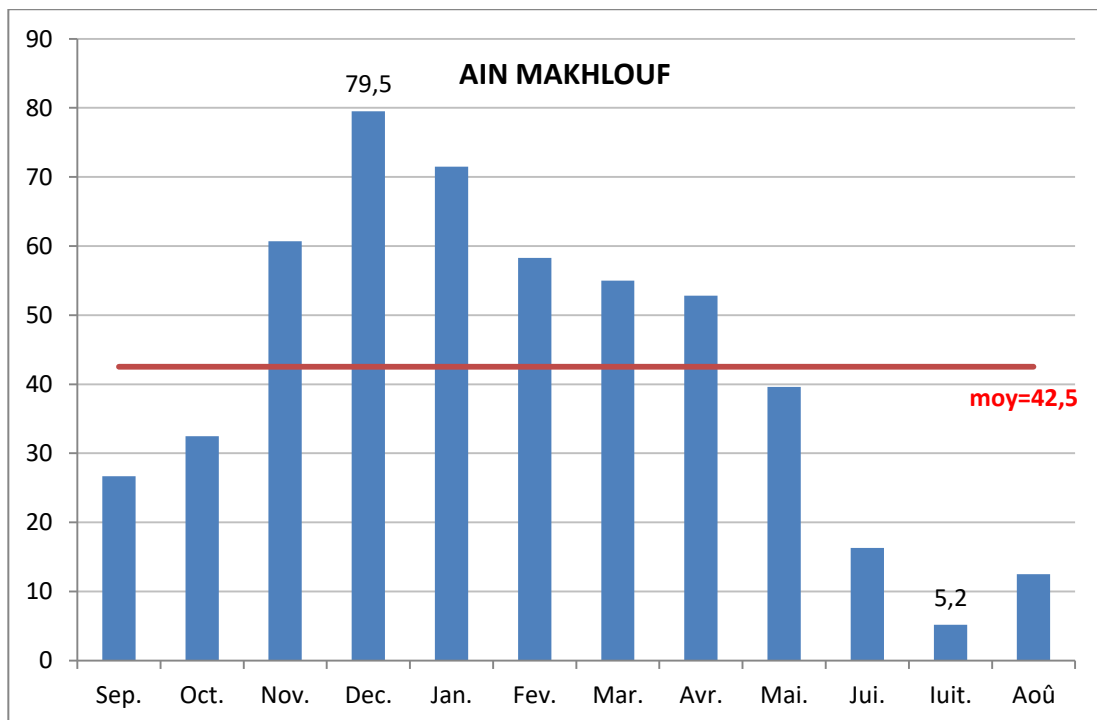


Figure II.07 (b): Variation annuelles des précipitations moyennes mensuelles (1970-2010)

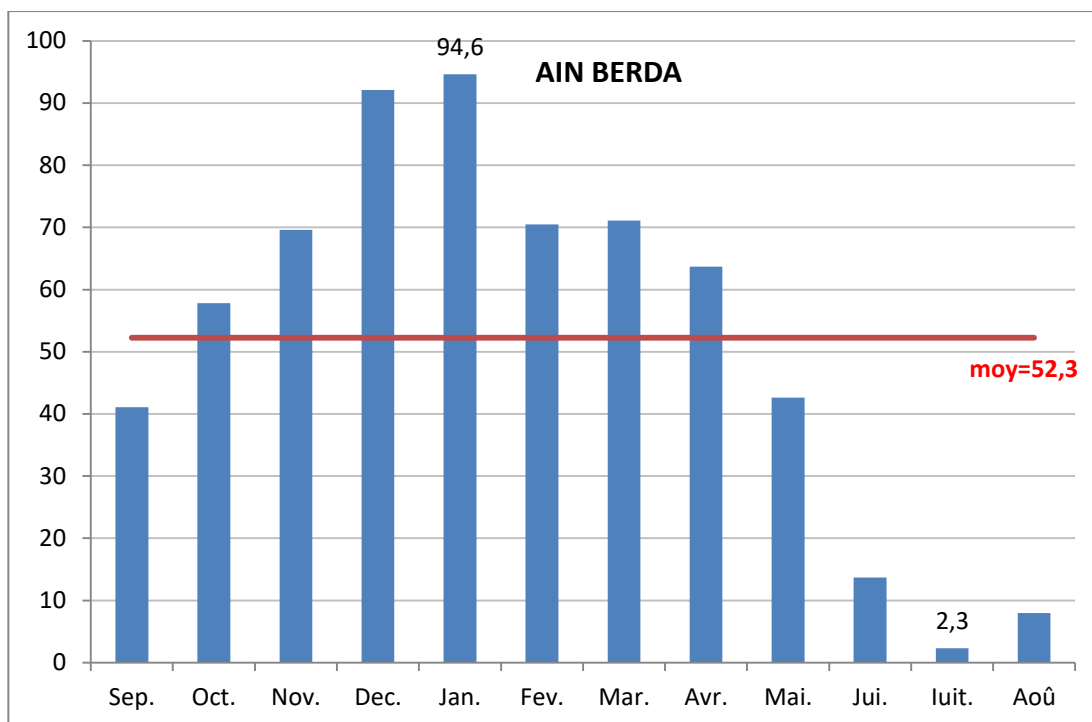


Figure II.07 (c): Variation annuelles des précipitations moyennes mensuelles (1970-2010)

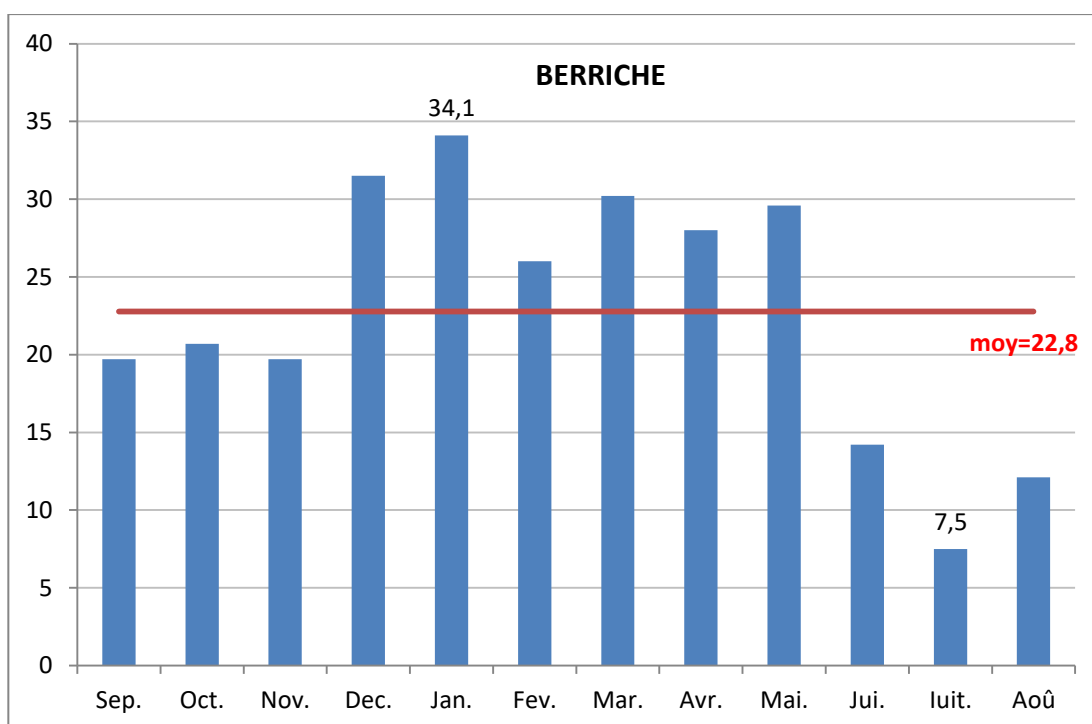


Figure II.07 (d): Variation annuelles des précipitations moyennes mensuelles (1970-2010)

La variabilité spatiale de ces précipitations est plus accentuée en allant vers le sud du bassin ; cette variabilité reste très nuancée selon le mois et la réalité géographique des différents secteurs du bassin.

On peut distinguer deux grandes périodes (figure II.06) :

- Une période sèche qui s'allonge sur 5 à 6 mois à partir de où les précipitations sont inférieures à la moyenne mensuelle de l'année. Les mois de juin, juillet, août, sont secs dans toutes les postes pluviométriques et le minimum est atteint en juillet.

- Une période humide où les précipitations sont supérieures à la moyenne mensuelle de l'année, cette saison débute en octobre, novembre, ou même décembre pour les zones marécageuse au sud et s'achève en avril-mai, avec un maximum généralement en décembre- janvier.

On note aussi l'amplitude importante des valeurs pluviométriques, entre les même mois de la série pluviométrique.

II.5-1-4 Les pluies journalières maximales :

L'analyse des précipitations journalières maximales, présente un intérêt particulier pour les travaux d'analyse hydrologique, d'aménagement hydraulique lorsqu'on parle en termes de risque, notamment l'étude de l'érosivité des pluies.

Notre analyse des pluies extrêmes est basée sur les données d'observation disponible pour 22 stations pluviométriques, ainsi que sur les données d'étude faite par [Body \(1985\)](#).

Il s'avère que la pluie journalière maximale, décroisse d'une manière générale, en s'éloignant de la mer méditerranéenne vers les hauts plateaux, altéré toutefois par l'effet orographique de l'Atlas Tellien. À titre de comparaison, le poste pluviométrique de Boukhamouza qui totalise en moyenne annuelle de 649 mm, a reçu une lame d'eau journalière maximale moyenne de 59 mm pour la même période de référence (1970-2010). Alors qu'Ain Diss, dont le total annuel est d'environ 389 mm n'a reçu qu'une hauteur maximale moyenne de 16,4 mm. Concernant la variabilité les hauteurs maximales recueillies en 24 heures sont d'autant plus élevées que les modules mensuel et annuels sont plus fort.

Ces pluies exceptionnelles alimentent largement les crues et jouent donc un grand rôle dans l'érosion hydrique dans du bassin.

Afin de fournir des éléments indispensables pour l'analyse de l'érosivité des pluies, les pluies de courte durée, une étude fréquentielle a été élaborée pour caractériser et d'estimer les précipitations journalières maximales, pour les différentes durées de récurrence.

Tableau II.03 : Pluies journalières maximales de la Seybouse

Station	P_j_{max}
Ain El Kleb	48,1
Bou Snib	60,2
Boulhilet	27,1
Ain Diss	16,4
Ain Beida	40,3
Fkirina	16,5
Berriche	34
Ksar Sbahi	39
Ain Settara	36
Ain Snob	40
Ain Makhlouf	46,2
Bordj Sabath	51
El aria	39
Ras El Akba	22,9
Medjez Amar PV	49
Heliopolis	54,4
Mechroha	52,1
Boucheq-ouf	50,7
Nechmeya	47
Ain Berda	50,3
Boukha-mouza	59
El Kerma	56
Kef Mourad	50

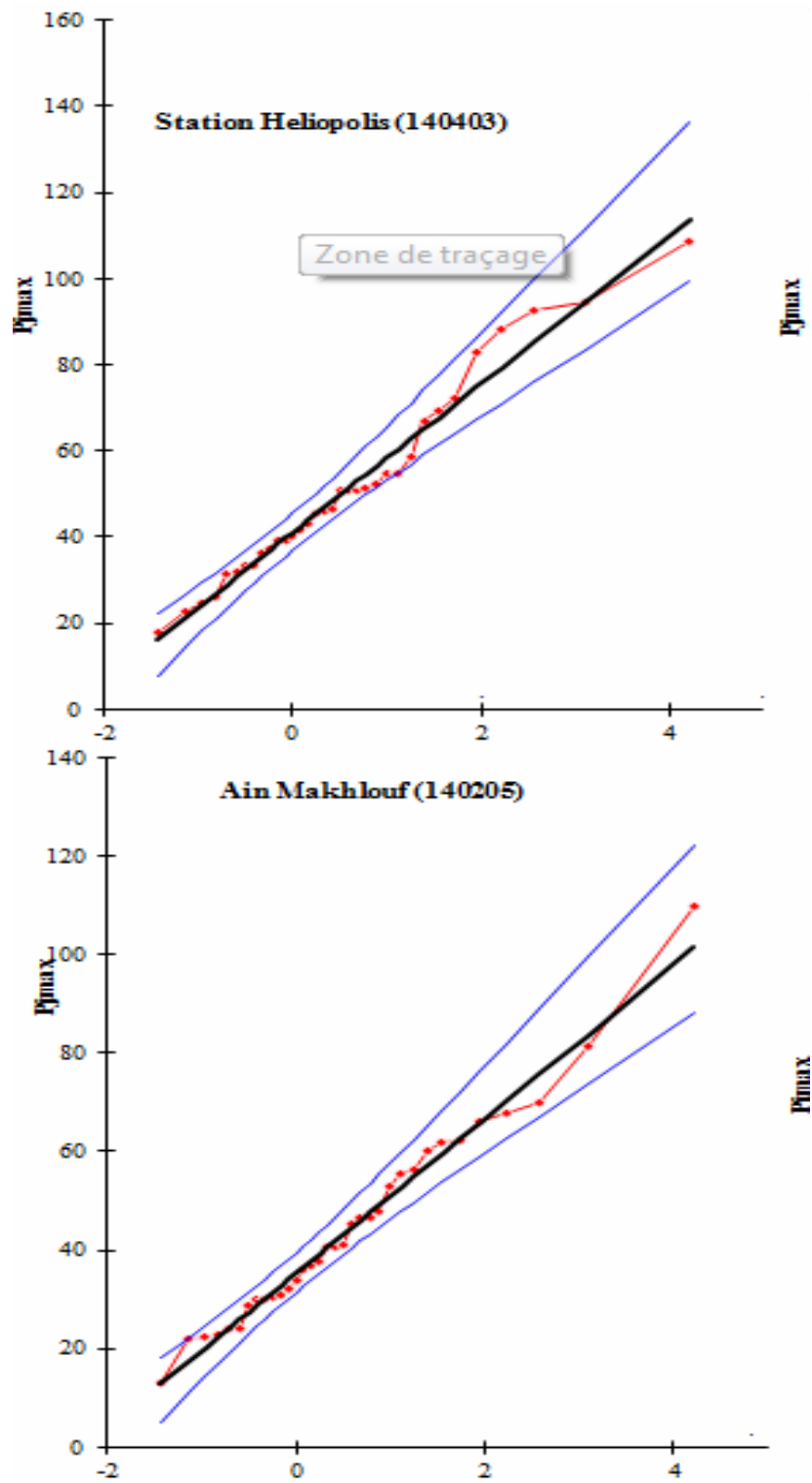


Figure II.08 (a) : Ajustement à la loi de Gumbel des P_{jmax} (1970-2010)

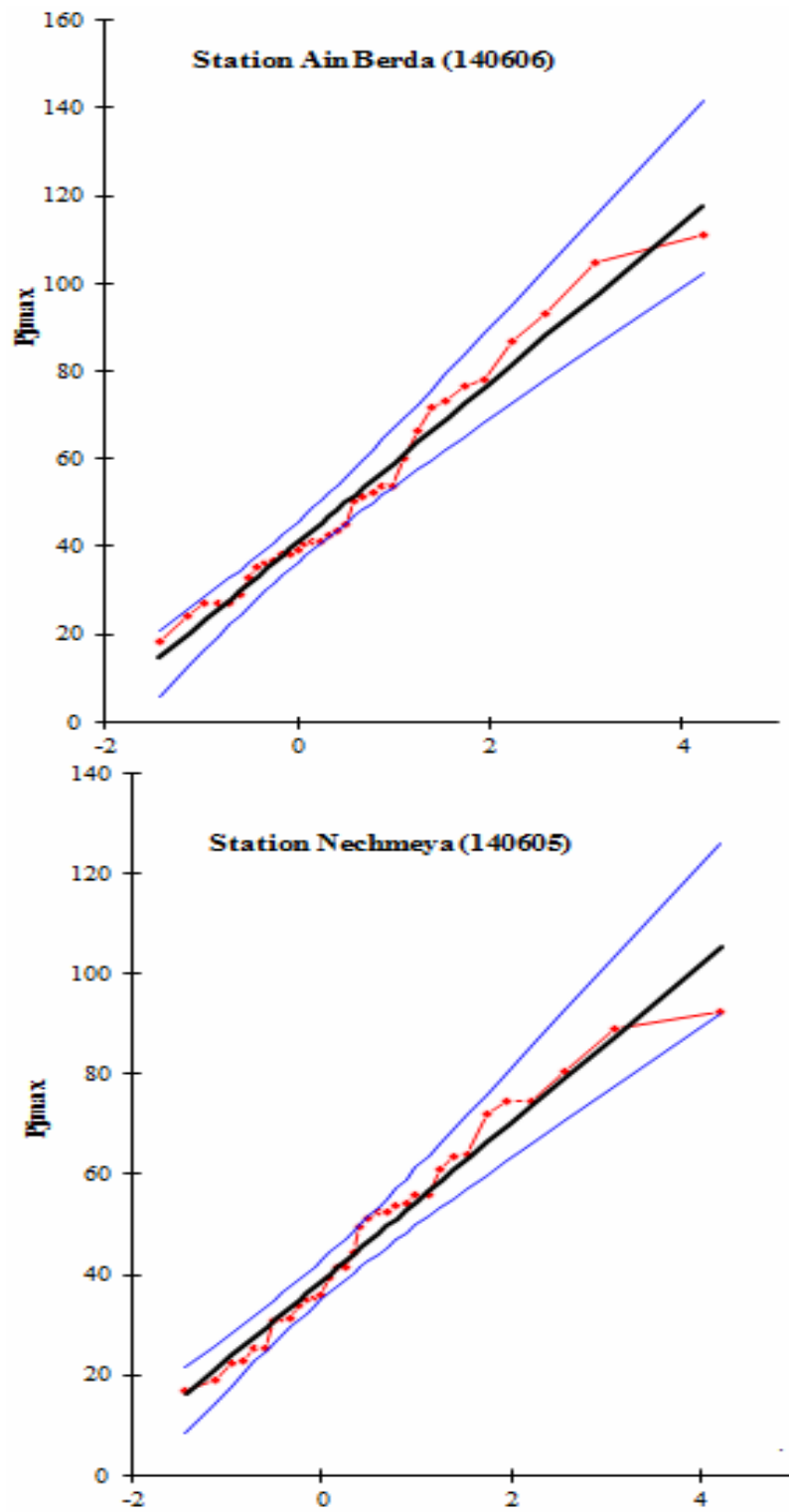


Figure II.08 (b): Ajustement à la loi de Gumbel des P_{jmax} (1970-2010)

Les quantiles estimés pour les probabilités de retour retenues, sont présentés dans le tableau II.04

Tableau II.04 : Pluie maximale journalière fréquentielle (1970-2010)

	Période de retour (ans)	2	5	10	50	100	1000
	Fréquence	0,5	0,90	0,95	0,98	0,99	0,999
	Variable de Guembel	0,367	2,250	2,970	3,902	4,600	6,907
P_jmax%	Ain El Kleb	41,9	73,1	85,0	100,4	112,0	150,2
	Bou Snib	55,5	104,1	122,6	146,6	164,6	224,1
	Boulhilet	24,1	44,8	52,7	62,9	70,5	95,8
	Ain Diss	73,2	110,1	124,2	142,5	156,1	201,4
	Ain Beida	36,9	60,2	69,1	80,6	89,2	117,8
	Fkirina	30,5	58,9	69,8	83,8	94,3	129,1
	Berriche	30,5	54,0	63,0	74,6	83,3	112,0
	Ksar Sbahi	34,8	60,3	70,1	82,7	92,2	123,5
	Ain Settara	33,6	52,1	59,1	68,2	75,1	97,7
	Ain Snob	34,6	63,3	74,3	88,5	99,2	134,4
	Ain Makhoulouf	41,1	70,6	81,9	96,6	107,5	143,7
	Bordj Sabath	46,0	70,9	80,4	92,7	102,0	132,5
	El aria	14,3	42,2	52,9	66,7	77,0	111,2
	Ras El Akba	19,5	53,8	67,0	83,9	96,6	138,7
	Medjez Amar P	44,1	66,4	75,0	86,0	94,3	121,7
	Heliopolis	47,4	79,8	92,2	108,3	120,3	160,0
	Mechroha	48,8	84,1	97,6	115,1	128,2	171,5
	Boucheougouf	46,3	78,1	90,2	105,9	117,6	156,5
	Nechmeya	44,7	74,4	85,7	100,4	111,4	147,7
	Ain Berda	47,5	81,9	95,1	112,1	124,8	166,9
	Boukhamouza	52,6	92,9	108,4	128,3	143,3	192,7
	El Kerma	51,7	89,7	104,1	122,9	136,9	183,4
	Kef Mourad	46,4	81,7	95,1	112,6	125,6	168,8
Pont Bouchet	44,3	72,7	83,6	97,7	108,2	143,0	

II.5-1-5 les pluies de courte durée :

L'approche que nous avons adoptée pour la détermination de l'indice d'érosivité des pluies nécessite de descendre à une échelle temporelle encore plus fine dans l'analyse des pluies

extrêmes, à l'échelle des pluies horaires. Bien que, n'ayant pas de données suffisantes, nous avons recouru à des formules empiriques permettant d'estimer les pluies de courte durée, dont celle utilisée par l'A.N.R.H (la loi de Montana), d'après [Body \(1981\)](#) :

$$P(t) = \left(\frac{t}{24}\right)^b$$

Avec :

$P(t)$: Pluies de courte durée de fréquence donnée, en mm ;

$P_{j_{max}}$: Pluie journalière maximale de fréquence donnée en mm.

b: Exposant climatique de Body.

La pluie de courte durée, à pas du temps voulus pour des différentes fréquences, est donnée dans le tableau II.05

II.5-2 Les températures et ses nuances : Régime thermique

La Seybouse dispose 4 stations climatiques contrôlées par l'O.N.M, deux en son sein et deux au voisinage, pour lesquelles on dispose des données présentées dans le tableau II.06

Les températures moyennes mensuelles maximales sont atteintes en juillet et août, elles varient entre 30,5°C à Annaba et 36,2°C à Guelma. Alors que les températures moyennes mensuelles minimales s'observent en janvier et atteignant parfois 2°C à Oum El Bouaghi. Les températures moyennes annuelles varient entre 15,3°C à Oum El Bouaghi et 18,1°C à Annaba. L'amplitude thermique annuelle qui traduit la différence entre la température moyenne du mois le plus chaud et celle du mois le plus froid, varie entre 10,5°C à Annaba et 13,5°C à Guelma.

Tableau II.05: Pluie de courte durée pour 4 stations pluviométriques représentatives la Seybouse

		2	5	10	50	100	1000
St	t (h)	0,5	0,9	0,95	0,98	0,99	0,999
Pont Bouchet	1	15,7	17,1	17,6	18,1	18,4	19,3
	2	19,7	23,5	24,7	26,1	27,1	29,9
	3	22,5	28,2	30,1	32,4	33,9	38,6
	4	24,7	32,2	34,7	37,7	39,8	46,3
	6	28,2	38,7	42,3	46,8	50	59,7
	12	35,3	53	59,5	67,6	73,5	92,4
	18	40,3	63,8	72,6	93,9	92,2	119,3
	24	44,3	72,7	83,6	97,7	108,2	143
Boukhamouza	1	16,2	17,9	18,4	19	19,3	20,4
	2	20,9	25,6	27,1	28,8	29,9	33,3
	3	24,3	31,6	34	36,7	38,7	44,3
	4	27	36,7	39,9	43,7	46,3	54,3
	6	31,4	45,3	50	55,7	59,8	72,4
	12	40,7	64,9	73,6	84,6	92,6	118,1
	18	47,3	80	92,3	107,9	119,5	157,3
	24	52,6	92,9	108,4	128,3	143,3	192,7
Ain Makhlouf	1	15,5	17	17,5	18	18,4	19,4
	2	19,1	23,2	24,5	26	27	30
	3	21,7	27,9	29,8	32,2	33,8	38,7
	4	23,7	31,7	34,3	37,5	37,7	46,4
	6	26,8	38	41,8	46,4	49,7	59,9
	12	33,2	51,8	58,5	67	73,1	92,8
	18	37,6	62,1	71,2	83	91,6	119,9
	24	41,1	70,6	81,9	96,6	107,5	143,7
Berriche	1	14,7	16,2	16,7	17,2	17,6	18,5
	2	17,2	21,1	22,3	23,7	24,7	27,4
	3	18,9	24,6	26,4	28,6	30,1	34,5
	4	20,3	27,4	29,8	32,6	34,6	40,6
	6	22,3	32	35,3	39,3	42,2	51,1
	12	26,1	41,6	47,2	54,2	59,3	75,6
	18	28,7	48,4	55,9	65,3	72,3	95,2
	24	30,5	54	63	74,6	83,3	112

**Tableau II.06 : Régime thermique mensuel aux stations climatiques contrôlant la Seybouse
(1990-2004).**

Source : Office National de la Météorologie ONM), Constantine.

		Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aou	Ann
Annaba latitude: 36°50 Longitude: 7°49 Altitude 8m	Max	42,5	40,1	31,0	27,6	27,0	30,1	36,8	37,9	38,8	42,9	47,5	46,1	37,4
	min	11,3	7,4	2,0	-0,5	0,3	-1,0	2,0	3,3	6,2	9,0	12,2	13,9	5,5
	M	29,4	25,9	20,9	17,5	16,4	16,9	18,6	20,4	23,7	27,5	30,5	31,3	23,3
	m	18,0	15,0	11,0	8,2	6,9	7,1	8,3	9,9	13,0	16,6	19,0	20,2	12,8
	(M+m)/2	23,7	20,5	16,0	12,9	11,7	12,0	13,5	15,2	18,4	22,1	24,8	25,8	18,1
	(M-m)	11,4	10,9	9,9	9,3	9,5	9,8	10,3	10,5	10,7	10,9	11,5	11,1	10,5
Guelma latitude: 36° 28 Longitude: 7° 28 Altitude 227m	Max	45,0	41,0	31,2	28,0	27,3	29,2	34,7	35,2	41,3	46,9	47,4	46,9	37,8
	min	9,4	6,2	0,0	-2,7	-3,5	-4,2	-1,8	-0,5	1,6	6,0	10,2	11,5	2,7
	M	31,4	26,7	20,3	16,5	15,4	16,7	18,7	21,2	26,3	31,6	35,5	36,2	24,7
	m	17,3	13,9	9,2	6,2	4,8	4,6	6,1	8,1	11,5	15,5	18,2	19,4	11,2
	(M+m)/2	24,4	20,3	14,8	11,4	10,1	10,7	12,4	14,7	18,9	23,6	26,9	27,8	18,0
	(M-m)	14,1	12,8	11,1	10,3	10,6	12,1	12,6	13,1	14,8	16,1	17,3	16,8	13,5
Souk-Ahras latitude: 36° 17 Longitude: 7° 58 Altitude 680m	Max	43,0	37,2	27,3	24,5	24,5	27,0	30,6	32,2	37,9	42,6	43,7	43,1	34,5
	min	7,6	3,4	-0,4	-4,2	-5,7	-6,1	-1,5	-1,2	2,0	6,5	9,5	10,5	1,7
	M	28,4	23,3	16,6	12,8	11,6	12,9	15,3	18,1	23,5	29,2	33,4	33,2	21,5
	m	15,7	11,6	7,5	4,7	3,3	3,8	5,3	6,9	10,5	14,8	17,6	18,4	10,0
	(M+m)/2	22,1	17,5	12,1	8,8	7,5	8,4	10,3	12,5	17,0	22,0	25,5	25,8	15,8
	(M-m)	12,7	11,7	9,1	8,1	8,3	9,1	10,0	11,2	13,0	14,4	15,8	14,8	11,5
O,El Bouagui latitude: 35° 52 Longitude: 7° 07 Altitude 889m	Max	40,0	36,0	26,2	23,6	22,6	26,2	32,2	33,0	37,6	42,3	42,3	43,3	33,8
	min	3,7	0,0	-5,6	-6,8	-7,3	-8,5	-6,0	-3,0	-0,4	3,6	8,0	7,6	-1,2
	M	28,9	22,9	16,2	12,1	11,1	12,9	16,3	18,9	24,5	30,3	33,6	33,7	21,8
	m	14,5	10,6	5,6	2,4	1,9	1,6	3,7	5,9	10,3	14,7	17,2	17,4	8,8
	(M+m)/2	21,7	16,8	10,9	7,3	6,5	7,3	10,0	12,4	17,4	22,5	25,4	25,6	15,3
	(M-m)	14,4	12,3	10,6	9,7	9,2	11,3	12,6	13,0	14,2	15,6	16,4	16,3	13,0

Max : températures maximale absolue ; min : température minimale absolue ;

M : température moyenne maximale ; m : températures moyenne minimale ;

(M+m)/2 : température moyenne mensuelle ; (M-m) : amplitude thermique.

CHAPITRE III :
ANALYSE ET CARTOGRAPHIE DE
L'EROSIVITE DES PLUIES:
APPROCHE GEOSTATISTIQUE

Ce chapitre expose les résultats obtenus par une méthode de cartographie automatique basée sur les liens statistiques existant entre l'érosivité des pluies et certaines caractéristiques topographiques.

III.1 Approche d'estimation de l'érosive des pluies et variable à cartographier :

Parmi les méthodes d'estimation de l'érosivité des pluies développées, nous avons choisi la celle de l'indice d'agressivité climatique de Wischmeier (1958). Cet indice est déduit de l'équation universelle de perte en sol de Wischmeier » qui s'écrit de la manière suivante :

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P$$

A = perte annuelle moyenne de sol ($t \text{ ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$)

R = indice d'érosivité potentielle des pluies ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ an}^{-1}$)

K = indice d'érodibilité des sols ($t \text{ ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1} \text{ ha h}$)

LS = facteur topographique dépendant de la pente et sa longueur

C = facteur de culture, représentant l'effet de la couverture végétale;

P = facteur de conservation et d'aménagement qui tient compte des techniques culturales antiérosives.

Parmi ces indices, celui de l'agressivité climatique ou indice d'érosivité des pluies **R** établi Wischmeier en 1958 et estimer comme suit :

$$R = I_{30} \cdot E_C \cdot k$$

avec :

E_C : l'énergie cinétique de l'averse ($\text{J/m}^2/\text{mm}$)

I₃₀ : l'intensité maximale pendant 30 mn de l'averse (mm/heure)

k : coefficient qui dépend de système d'unités

Cependant, suite au manque de ces données dans plusieurs bassins de l'Algérie, y compris la Seybouse, nous avons adopté une méthode simplifiée pour estimer **R** en se basant sur les données pluviométriques annuelles et journalières max disponibles au niveau des 26 postes pluviométriques retenus dans cette étude (Figure III.04).

Dans ce sens, Wischmeier a proposé une autre formule qui tient compte de la bonne corrélation trouvée entre la moyenne des $E_C \cdot I_{30}$ et le produit de pluie annuelle (**H**) multipliée par la pluie

tombée pendant 1 heure (h_1) et 24 heures (h_{24}) avec une période de retour de 2 ans (Arnoldus, 1980, 1977). La formule est exprimée comme suit:

$$R = K.C^n$$

Avec :

$$C = h_1 \times h_{24} \times H$$

R : érosivité annuelle ($MJmm\ ha^{-1}h^{-1}an^{-1}$).

h_1 : lame de pluie maximale précipitée en 1 heure pour une récurrence de 2 ans (cm).

h_{24} : lame de pluie précipitée maximale en 24 heures pour une récurrence de 2 ans (cm).

H : pluie moyenne annuelle de pluie (cm)

K,n : coefficients liés aux climat (sous climat subhumide à semi-aride, $K=0.751$, $n=0.80$).

Afin de déterminer (h_1) et (h_{24}), on applique la formule de type Montana (Body,1985)

$$h_{t\%} = h_{j\%} \left(\frac{t}{24} \right)^b$$

avec :

$h_{j\%}$: pluie maximale journalière fréquentielle, déterminée après ajustement des pluies maximales journalières à la loi théorique (ici la loi de Gumbel). Pour cela, une série de précipitations maxima journalières sur la période 1970/2010, des 26 postes pluviométriques situés à l'intérieur et à l'entour du bassin, a été utilisée.

b : exposant climatique déterminé par Body dans 15 postes équipés en pluviographe répartis dans le nord-est algérien (Body,1985). Cet exposant est étendu sur tous les postes pluviométriques retenus dans l'étude par régression multiple entrepris entre (b) et les coordonnées Lambert X (km) et Y (km), ainsi que l'altitude Z (m) des 15 postes pluviographiques. La valeur du coefficient de détermination ($r^2=0,798$) justifie le choix du modèle de régression présenté ci-dessous :

$$b = 7,93 - 0,003 X \text{ (km)} + 0,005 y \text{ (km)} + 0,004 Z \text{ (m)} - 0,549 Z/Y - 0,718 Z/X + 0,870 X/Y - 1,16 \log XYZ$$

III.2 Construction du modèle érosivité – relief :

La cartographie automatique des iso-érosivités s'appuie sur le traitement de l'information géo-topographique, facteur influençant considérablement la variabilité spatiale de l'érosivité des pluies. De ce fait, nous avons mis en œuvre une méthodologie basée sur une succession d'étapes permettant d'aboutir au modèle final « carte d'érosivité » :

III.2-1 La construction du modèle numérique de terrain (MNT) :

Le MNT a été la première donnée nécessaire pour la cartographie de l'indice R. Ceci a nécessité l'acquisition de six cartes topographiques au 1/50.000 avec une équidistance des courbes de niveau de 20 m. La numérisation sous SIG Mapinfo des courbes de niveau de ces cartes a permis de produire un MNT couvrant le bassin de la Seybouse. La résolution choisie était de 40 m. La Figure III.01, présente le modèle numérique de terrain (MNT) de la région d'étude que nous avons utilisé.

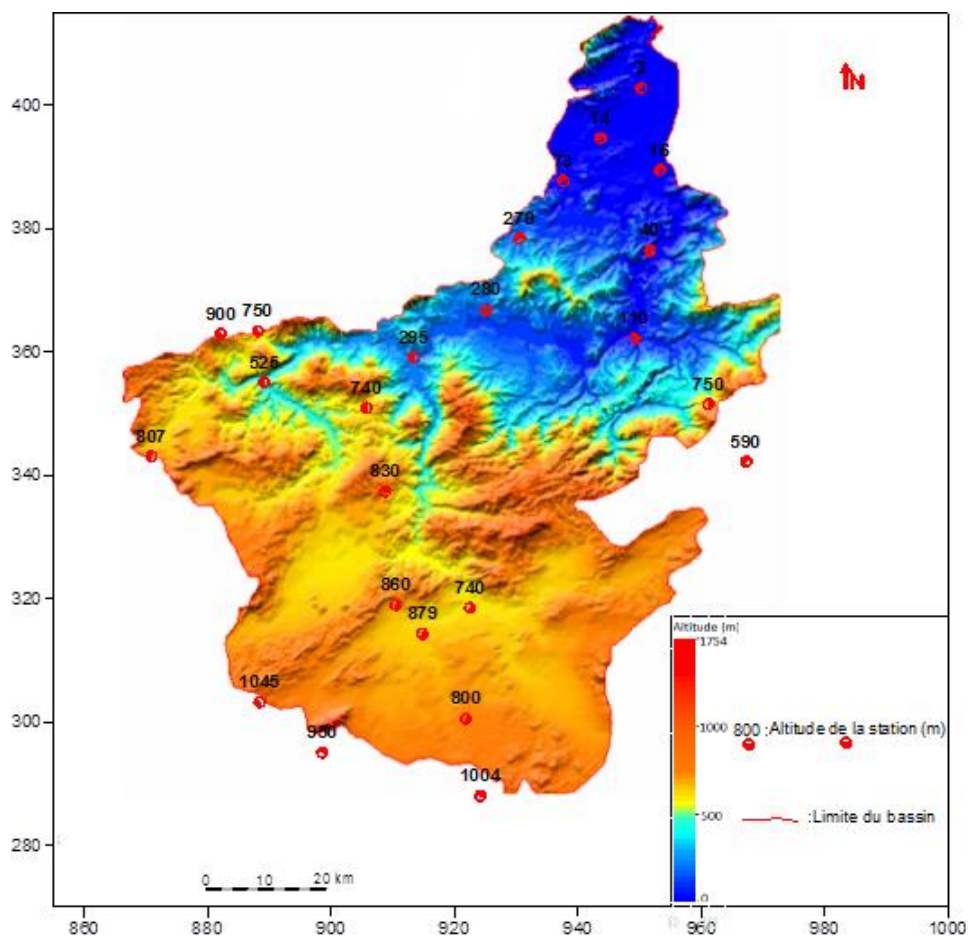


Figure III.01 : MNT couvrant la Seybouse

III.2-2 La distance à la mer :

D'après Réménieras, (1965), la distance à la mer dans le sens des vents pluvieux influence l'érosivité des pluies, elle constitue l'un des paramètres explicatifs de la sa variabilité. Pour notre étude, la grille des distances à la méditerranée a été extraite de celle établie par Guidoum (2017) couvrant le nord-est de l'Algérie. Elle été établie sous SIG Mapinfo, en partant des coordonnées géographiques de la ligne de côte et des nœuds de la grille MNT.

$$dm = \min \left[\sqrt{(x_0 - x_{\text{côte}})^2 + (y_0 - y_{\text{côte}})^2} \right]$$

x_0, y_0 : Coordonnées géographiques des nœuds de la grille MNT ; $x_{\text{côte}}, y_{\text{côte}}$: Coordonnées géographiques des points de la ligne de côte.

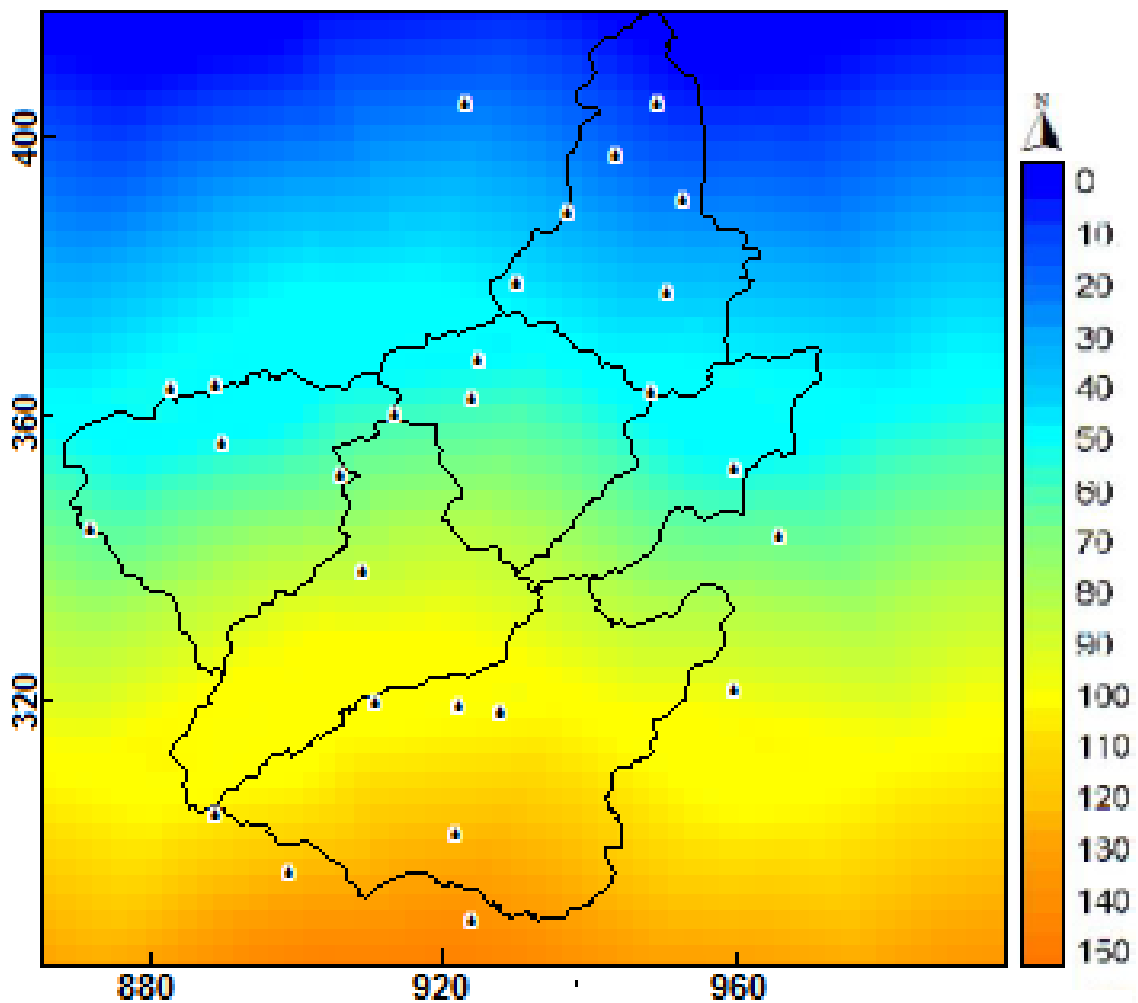


Figure III.02 : Distance à la mer établie pour la Seybouse (Guidoum, 2017)

III.2-3 Régression érosivité-paramètres explicatifs :

Les valeurs ponctuelles de l'indice d'érosivité de Wischmeier calculées, ont ensuite été spatialisées, à l'échelle du bassin, à partir d'une régression multiple entre (R), les coordonnées Lambert (X) et (Y), la distance à la mer (DM) et l'altitude (Z) des postes pluviométriques, en se fondant sur les données du modèle numérique du terrain.

Les essais de régressions multiples pas à pas réalisés ont montrés que la meilleure corrélation de l'indice d'érosivité (R) a porté sur les paramètres (X, Z, Z/DM et Z/Y) donnant un coefficient de corrélation multiple égal à 0,92 à la probabilité $\alpha = 0,5$. L'équation de régression est de la forme suivante :

$$\sqrt{R} = -20,2 + 0,0311(X) - 0,0119(Z) + 0,530(Z/DM) + 1,67(Z/Y)$$

Tableau III.01 : Paramètres de la régression multiple : $\sqrt{R} = f(X, Z, Z/DM, Z/Y)$

Station	R	\sqrt{R}	X (km)	Y (km)	Z (m)	dm (m)	Z/DM	Z/Y	ϵ
Ain El Kleb	79,60	8,92	888,15	363,4	750	50,3	14,9	2,1	-1,0273
Bou Snib	115,16	10,73	882,1	362,95	900	50,1	18	2,5	0,4394
Boulhilet	20,93	4,58	858,4	277,55	859	149	5,8	3,1	0,0517
Ain Beida	55,14	7,43	924,15	288	1004	139,7	7,2	3,5	1,1268
Fkirina	42,57	6,52	916,9	272,75	856	150,5	5,7	3,1	0,1494
Berriche	32,91	5,74	921,85	300,5	800	122,4	6,5	2,7	-1,2285
Ksar Sbahi	47,07	6,86	910,5	319	860	100,5	8,6	2,7	-0,0725
Ain Settara	42,62	6,53	922,5	318,5	740	100,6	7,4	2,3	-0,9734
Ain Snob	44,81	6,69	928,18	317,5	850	100,8	8,4	2,7	-0,8358
Ain Makhlouf	72,78	8,53	908,8	337,4	830	85	9,8	2,5	0,9204
Bordj Sabath	85,91	9,27	889,1	355,1	525	51,5	10,2	1,5	0,1519
El aria	57,77	7,60	870,85	343,1	807	63,5	12,7	2,4	-0,4440

Suite Tableau III.01 : Paramètres de la régression multiple : $\sqrt{R} = f(X, Z, Z/DM, Z/Y)$

Station	R	\sqrt{R}	X (km)	Y (km)	Z (m)	dm (m)	Z/DM	Z/Y	ε
Ras El Akba	102,22	10,11	905,7	350,9	740	64,7	11,4	2,1	1,3629
Medjez Amar P	87,16	9,34	913,4	359,1	295	57,2	5,2	0,8	0,4714
Heliopolis	93,05	9,65	925,15	366,85	280	51	5,5	0,8	0,0678
Mechroha	145,93	12,08	961,15	351,55	750	52	14,4	2,1	0,1673
Bouchegouf	86,19	9,28	949,15	362,2	110	50,5	2,2	0,3	-0,4227
Nechmeya	83,56	9,14	930,5	377,9	270	44,8	6	0,7	-0,8159
Ain Berda	96,40	9,82	937,6	387,75	73	30,5	2,4	0,2	0,0560
Boukhamouza	110,00	10,49	951,7	376,45	40	37,6	1,1	0,1	0,7798
El Kerma	102,57	10,13	944,6	395,5	14	18	0,8	0	0,6165
Kef Mourad	87,63	9,36	953,8	389,5	19	21,3	0,9	0	-0,3630
Pont Bouchet	87,49	9,35	950,25	402,8	3	6,8	0,4	0	-0,1785

III.2-4 Etude de la structure spatiale des résidus de régression :

La prise en compte de la structure spatiale des résidus sur le résultat final de la spatialisation de l'indice (R) est essentielle pour la mise en application de la technique d'interpolation choisie. Ceci nous renseigne sur les résidus de régression de tout l'espace étudié, à partir de l'analyse variographique. De ce fait, notre analyse de la variabilité spatiale de l'érosivité des pluies a porté sur les données brutes de l'indice d'érosivité (R) et sur les résidus des régressions des racines carrées des valeurs de R moyennes interannuelles ($\sqrt{\varepsilon}$) les plus significatives.

III.2-4-1 Variogramme expérimental et modélisation théorique :

Le variogramme brut expérimental $\gamma_e(h)$ exprime la variance des écarts entre les résidus de régression entre deux points distants de (h). Nous avons donc tenté de mettre en évidence une structure spatiale de ces résidus. Le calcul du variogramme expérimental nous a conduits à un nuage de points qui a été ajusté visuellement à un modèle théorique de type exponentiel (figure III.03):

$$\gamma(h) = C_0 + C \left[1 - e^{-\left(\frac{h}{a}\right)} \right]$$

$\gamma(h)$: Variogramme théorique ; h : La distance moyenne inter-classe (km) ; C : Le palier (MJ mm ha⁻¹ h-1 an⁻¹)² ; a : la portée théorique (km) ; $C_0 = 0$: Effet de pépité.

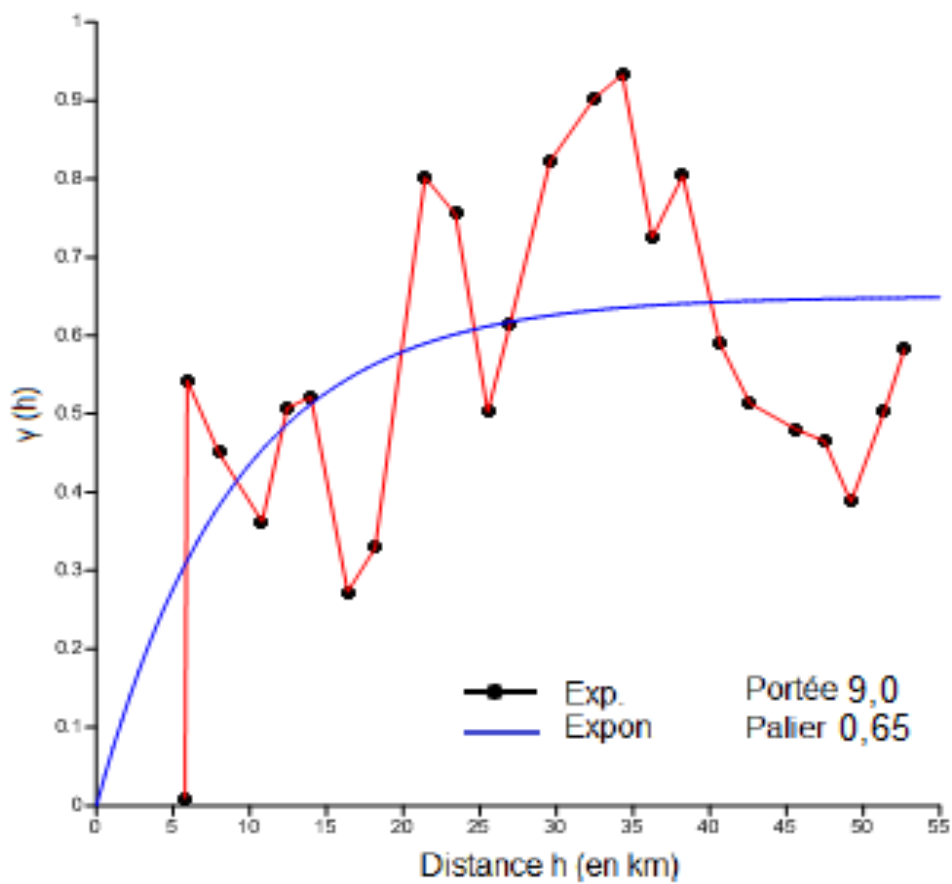


Figure III.03 : Variogramme des résidus de régression :

Moyennes des racines carrées de l'indice d'érosivité R, modèle exponentiel : portée = 9 km ; palier = 0,65 (MJ mm ha⁻¹ h-1 an⁻¹)² ; pépité nulle à l'origine.

III.2-4-2 Interpolation spatiale des résidus de régression: le krigeage comme méthode d'interpolation :

Une fois fini avec les procédures de la régression multiple et de l'ajustement variographique, reste à passer à l'interpolation des résidus afin d'identifier leur distribution spatiale en partant de valeurs ponctuelles. Il existe plusieurs méthodes d'interpolation, dont le krigeage que nous avons adopté dans notre cas.

Le krigeage est un interpolateur qui prévoit la valeur (inconnue) en un site non échantillonné par une combinaison linéaire des données ponctuelles adjacentes disponibles. Il s'appuie sur la géostatistique linéaire et se distingue des autres méthodes d'interpolation par sa prise en compte de la structure spatiale des données sous forme d'un modèle de variogramme (Chilès et Delfiner, 1999).

L'interpolation des résidus de régression des moyennes des racines carrées de l'indice R, calculés sur les 26 postes pluviométriques, a été effectuée aux nœuds d'une grille de 40 x 40 km². La spatialisation par krigeage a été faite à l'aide du logiciel Surfer®, version 9.

III.2-5 Constitution de la grille finale et de la cartographie automatique :

Les variables explicatives de (R) sélectionnées comme prédicteurs (*X*, *Z*, et *DM*) et les valeurs interpolées des résidus de la régression sont alors déterminées pour tous les points d'une grille à maillage (40 x 40) m².

L'équation $R = \left(\sqrt{R_i} + \sqrt{\varepsilon} \right)^2$, appliquée au semis de ces points, nous a permis de définir une grille finale des indices d'érosivités et de tracer les courbes d'iso-valeurs d'érosivité de pluies pour le bassin de la Seybouse. La carte résultante tient compte des incertitudes sur les estimations ponctuelles et valorise l'information topo-géographique intégrée dans cette approche cartographique (Figure III.04). Elle illustre des classes d'érosivité des pluies, équidistantes de 5 MJ mm ha⁻¹h⁻¹an⁻¹, et variée de moins de 35 à plus de 75 MJ mm ha⁻¹h⁻¹an⁻¹.

III.3 Interprétation de de la cartes d'érosivité élaborée :

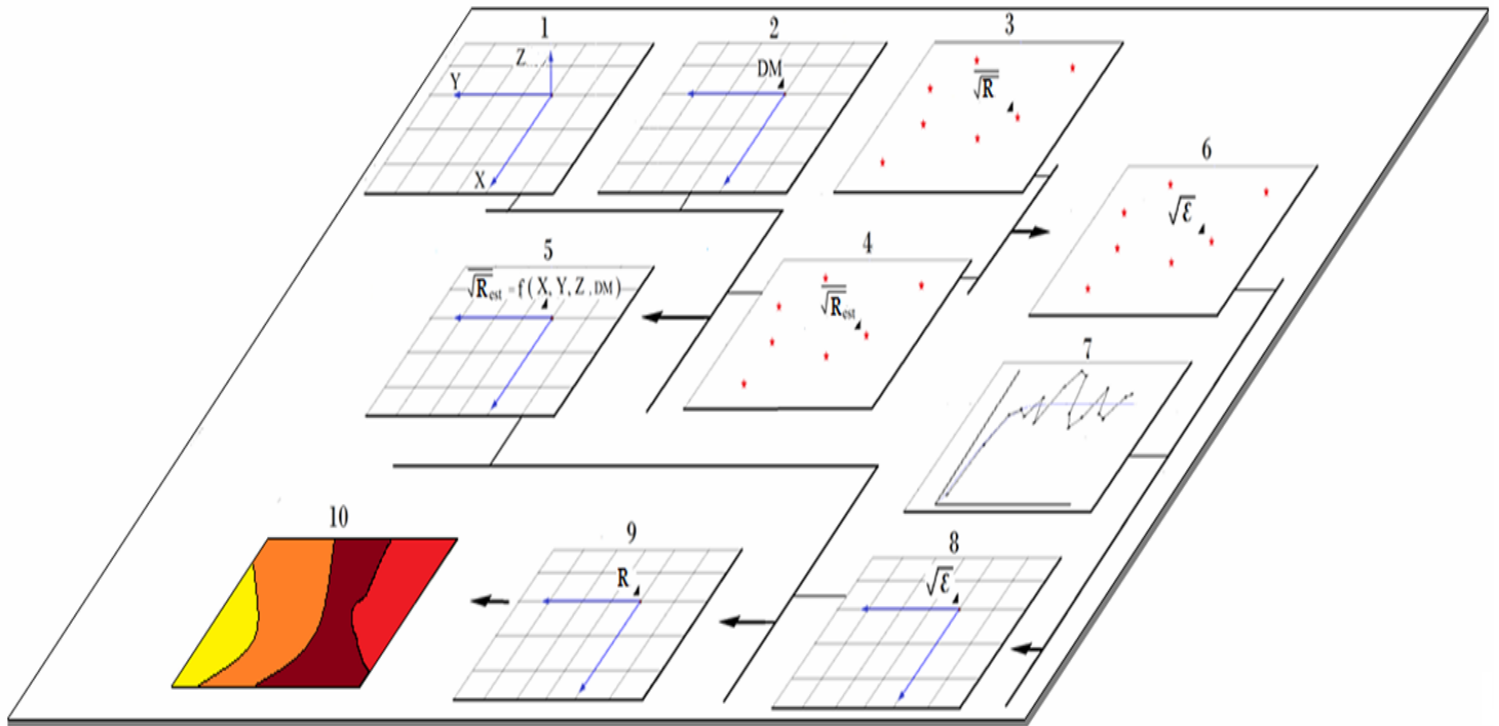
La carte du facteur R (figure III.04), montre que l'érosivité de la pluie au bassin de la Seybouse possède une forte variabilité spatiale. Généralement, les moyennes diminuent du nord vers le Sud. L'indice R est plus lent et plus régulière dans la partie sud du Bassin étudié.

Les valeurs de l'indice d'érosivité les plus importantes sont observées sur le massif métamorphique de l'Edough, la plaine côtière d'Annaba (Seybouse maritime). Ceci s'explique par le dessèchement progressif des masses d'air chargées d'humidité en allant vers le sud. L'effet orographique des massifs de Tell oriental accentue aussi l'érosivité des pluies.

Par contre, les valeurs de R les plus faibles sont observées au sud sur les hauts plateaux et au niveau du secteur des lacs salés (moins de 35), abrités par l'Atlas Tellien oriental.

La figure (III.04) montre que seulement le sous bassin maritime de la Seybouse a une érosivité de pluie supérieure à $70 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ an}^{-1}$. Nous pouvons également constater que pour le secteur nord, les moyennes de R sont généralement supérieures à $50 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ an}^{-1}$. Il est donc certain que la variation de l'indice (R) est influencée par plusieurs paramètres, dont l'altitude, la longitude, l'éloignement de la mer méditerranée, le pendage et l'exposition à l'air humide.

La forme générale des iso-érosivité se maintient sur l'ensemble de la zone d'étude. En plaine, les isohyètes sont globalement parallèles aux chaînes montagneuses du Tell oriental. Dans la zone de montagne les isohyètes épousent la forme du relief.



- | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>1 : Altitude du point de coordonnées (X,Y) de la grille</p> <p>2 : Distance à la mer du point de coordonnées (X,Y) de la grille</p> <p>3 : Valeurs ponctuelles des racines carrées des (R) calculés selon Wischmeier</p> <p>4 : Valeurs ponctuelles des racines carrées des (R) estimées par régression multiple</p> <p>5 : Racines carrées des indices R estimées du point de coordonnées (X,Y) de la grille</p> | <p>6 : Valeurs ponctuelles des résidus de régression $\sqrt{\epsilon} = \sqrt{R} + \sqrt{R_{est}}$</p> <p>7 : Variogramme expérimental des résidus de régression et modèle théorique adopté.</p> <p>8 : Racine carrée du résidu de régression $\sqrt{\epsilon}$ du point de coordonnées (X,Y) de la grille.</p> <p>9 : $R = (\sqrt{R_{est}} + \sqrt{\epsilon})^2$ du point de coordonnées (X,Y) de la grille finale.</p> <p>10 : Carte finale des indices d'érosivité des pluies selon Wischmeier</p> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Figure III.04 : Etapes suivies pour l'établissement de la carte d'indice d'érosivité des pluies (R) de Wischmeier

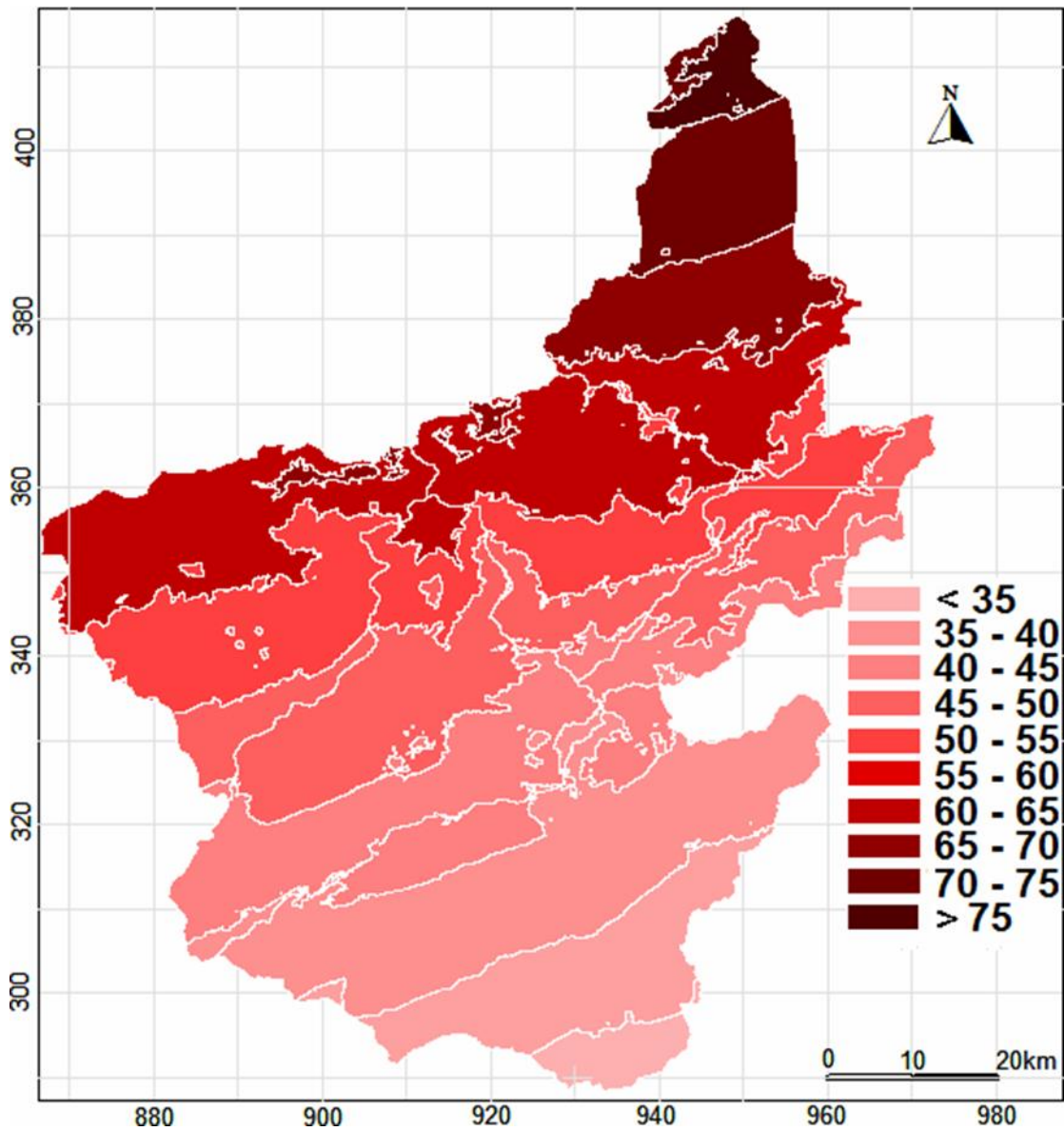


Figure III.05 : Cartes de l'indice d'érosivité des pluies de Wischmeier pour la Seybouse (1970 - 2010)

CONCLUSION GENERALE :

Visant à mettre en évidence la spatialisation de l'érosivité des pluies pour le bassin de la Seybouse sur un support cartographique simple, permettant une représentation synthétique facile à analyser, une bonne connaissance de la structuration des champs de l'indice d'érosivité de Wischmeier dans l'espace s'avère nécessaire.

La régression multiple a permis d'élaborer le meilleur modèle statistique pour l'indice R et de tracer la carte d'iso-érosivité (1970-2004). Cette dernière fait ressortir le rôle prépondérant du relief et de la position géographique dans la répartition spatiale de l'érosivité. En plus, elle peut être utilisée dans les zones du bassin dépourvues d'informations pluviographiques.

L'érosivité des pluies est relativement faible dans plus de 60 % de la étendue du bassin d'étude ($R \leq 60$ MJ.mm/ha.h.an). L'indice d'érosivité augmente lorsque l'on se rapproche de la méditerranée et des chaînes montagneuses, ce qui est naturel car ces zones sont davantage soumises aux précipitations que le reste de la zone d'étude. Les valeurs maximales de l'érosivité se situent autour de 70 MJ.mm/ha.h.an, sur la bordure cotière et le massif d'Edough.

Cette contribution renferme des limites qui viennent principalement de la discontinuité spatio-temporelle et l'imprécision de certaines données pluviométriques, influençant les résultats d'évaluations de l'indice l'érosivité des pluies. Cependant, le modèle pourra facilement être réactualisé à la suite de la remise à jour de la base de données. Il apparaît également nécessaire de se pencher sur variation saisonnière de l'érosivité des pluies.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

[Anser.A \(1998\)](#) La pluviométrie en Algérie du Nord : évolution et variabilité (1931-1995). Thèse de doctorat d'état, Université de Constantine, Institut des Sciences de la terre, 260 p.

[Arnoldus.H.M.J. \(1977\)](#). Methodology used to determine the maximum potential average 547 annual soil loss due to sheet and rill erosion in Morocco. *FAO Soils Bulletin*, 34: 39-51.p.

[Arnoldus.H.M.J \(1980\)](#) An approximation of the rainfall factor in the Universal Soil Loss Equation. In: De Boodt and Gabriels: Assessment of erosion. *FAO Land and Water Development Division*, Wiley & Sons, England: 127-132.

[Bagarello.V, & D'Asaro,F, \(1994\)](#). Estimating single storm erosion index. *Trans. Am. Soc. Agric. Engrs* 37, 785–791.

[Baillargeon.S, \(2005\)](#) .Le krigeage : revue de la théorie et application µa l'interpolation spatiale de données de précipitations. Mémoire Maître ès sciences (M.Sc.), Université Laval, 137 p.

[Body.K, \(1985\)](#) Analyse fréquentielle des pluies de l'Algérie « Synthèse Régionale : détermination des paramètres principaux par station et leur répartition spatiale. Institut National des Ressources Hydrauliques (INRH), Constantine 2ème impression, 46p.

[Boukheir.R.M.C, Girard.A, Shaban.M, Khawlie.G, Faour.T, Darwich \(2001\)](#), Apport de la télédétection pour la modélisation de l'érosion hydrique des sols dans la région côtière du Liban", *Télédétection*, vol. 2, n° 2, 79-90.

[Cerdan.O, \(2001\)](#). Analyse et modélisation du transfert de particules solides à l'échelle de petits bassins versants cultivés". Thèse de doctorat Sciences de l'univers. Université d'Orléans, 172 p

[Chaumont.M, et Paquin.C, \(1971\)](#) Carte pluviométrique de l'Algérie du Nord, échelle 1/500.000 (4 feuilles et notice), Société de l'Histoire Naturelle de l'Afrique du Nord, Alger, 24 p.

[Chilès.J.P, Delfiner.P, \(1999\)](#) Geostatistics: modeling spatial uncertainty, *Wiley series in probability and statistics*, Wiley, 695 p.

[Deguen.S, \(1998\)](#) Méthodes multivariées (1) : la régression linéaire multiple : Note méthodologie. *Sang Thrombose Vaisseaux*, 10 : 9, 586-90.

[Ellison.W.D, \(1944\)](#) Studies of raindrop erosion. Agricultural Engineering, 25: 131-136\$

[Gausсен.H, \(1948\)](#) Carte des précipitations de l'Algérie (moyenne 1913-47), échelle 1/500. 000. I.G.N., Paris.

[Ghachi.A, \(1986\)](#) Hydrologie et utilisation de la ressource en eau en Algérie. Thèse. Doctorat, OPU. 508 p.

[Gratton.Y, \(2002\)](#). Le krigeage : la méthode optimale d'interpolation spatiale. Les articles de l'Institut d'Analyse Géographique, 4p.

[Holder.R.L, \(1985\)](#) Multiple regression in Hydrology. Institute of Hydrology, Walling-ford, England, 147 p.

[Hudson.N. \(1981\)](#) Soil Conservation. Second Edition. Cornell University **Press**, Ithaca, New York.

[Ineglizs, \(2002\)](#) Contribution à l'étude de la répartition spatiale de la précipitation dans la région centre de l'Algérie du Nord. Thèse de maîtrise en aménagement hydraulique. École Nationale Supérieure de l'Hydraulique. Blida, Algérie. 120 p.

[Laborde.J.P, \(1995\)](#) Les différentes étapes d'une cartographie automatique : exemple de la carte pluviométrique de l'Algérie du Nord. Association Internationale de Climatologie, 8 : 37-46.

[Laborde.J.P, Mouhous.M, \(1998\)](#) Logiciel Hydrolab, version 98.2, équipe Gestion et valorisation de l'environnement de l'UMR 5651 « Espace » du CNRS, 43 p.

[Le Bissonnais Y, Thorette.J, Bardet.C., Daroussin.J. \(2002\)](#). L'érosion hydrique des sols en France. INRA, IFEN, France, 108 p.

[Mebarki.A, \(2000\)](#) Etiages, rejets et protection des ressources en eau des bassins méditerranéens de l'Algérie orientale. Géocarrefour, 75/4, l'interface nature-sociétés dans les hydrosystèmes fluviaux : 399-416.

[Mebarki.A, \(2005\)](#) Hydrologie des bassins de l'est algérien: ressources en eau, aménagement et environnement. Thèse de Doctorat d'Etat, Univ. Mentouri, Constantine, Algérie, 360 p

Morgan.R.P.C, (1986) Soil Erosion and Conservation. Longman, UK.

Petkovsek.G, & Mikos,M, (2004). Estimating the R factor from daily rainfall data in the sub-Mediterranean climate of southwest Slovenia. Hydrological sciences journal, 49 (5): 869-877

Réméniéras.G, (1965) L'hydrologie de l'ingénieur, 2ième édition, Eyrolles, Paris 456 p.

Renard.K.G, & Freimund.J.R., (1994). Using Monthly Precipitation Data to Estimate the R factor in the Revised USLE. J. Hydrol. 157:287–306 p.

Roose.E, (1976) Les facteurs de l'érosion hydrique en Afrique Tropicale, Etudes sur petites parcelles expérimentales de Sol, Revue géographique physique et de géologie dynamique, XVIII (4), 365-374

Rosse.E, (1977). Erosion et ruissellement en Afrique de l'Ouest, Travaux et documentation de L'OSTORM78, p 108.

Seltzer.P, (1946) Le climat de l'Algérie. Alger, Institut de Météorologie et de Physique du Globe", Carbonnel, (1946), 219 p., 2 cartes hors-texte.

Silva.A.M. (2001). Indice de erosividade e sua relação com a pluviometria e coeficiente de chuva em Juazeiro (BA). Piracicaba, Sao Paulo, Brazil (unpublished).

Vogt.H, (1991), Quelque problème concernant les méthodes de recherche en érosion des sols. Actes du colloque sur l'érosion des sols et l'envasement des barrages, 10-1.ANRH Alger

Wischmeier.W, (1958) : Rainfall erosion and its relationship to soil loss. Transactions American geophysical Union, 32, 285-291.